# Sitzungsberichte

der

# Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

BUREAU OF
AMERICAN ETHNOLOGY.
1910
LIBRARY.

Jahrgang 1909

Marburg
Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch
1910

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

28024

---

Jahrgang 1909

SMITHSONIAN INSTITUTION
FEB 13 1942
NATIONAL MUSEUM

Marburg
Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch
1910

# Inhalts-Angabe.


Seite

Herr *F. Schenck*: Beiträge zur allgemeinen Muskelphysiologie . . 1
Herr *Kutscher*: Ueber Krabbenextrakt . . . . . 5
Herr *Schwantke*: Entmischung labiler isomorpher Mischungen in der Feldspatgruppe . . . . . 7
Herr *Meisenheimer*: Ueber Regenerationsversuche an Schmetterlingen . . . . . 33
Herr *Oettinger*: Ueber abweichend geformte (atypische) Spermatozoen und ihre Bildungsweise bei Myriopoden . . . . . 36
Herr *Tönniges*: Die Fortpflanzung von Pelomxya palustris . . . 37
Herr *Richarz*: Schallgeschwindigkeit im Kaliumdampf . . . . 44
Herr *Goes*: Versuche mit elektrischen und akustischen Oscillationen an Wehneltröhren . . . . . 57
Herr *Goes*: Auslösung Wehneltscher Kathodenstrahlen durch elektrische Wellen . . . . . 60
Herr *Feussner*: Elementare Ableitung der Richtung der Interferenzstreifen bei keilförmigen Blättchen und Bemerkungen über den Strahlengang bei diesen Erscheinungen . . . . 62
Herr *Schwantke*: Nachtrag zum Bericht vom 13. Januar . . . 77
Herr *F. A. Schulze*: Zur Schwedoff'schen ballistischen Theorie der Funkenentladung . . . . . 78
Herr *Vogt*: Uebr rückschreitende Veränderungen von Kernen und Zellen junger Entwicklungsstadien von Triton cristatus . . 109
Herr *Kutscher*: Ueber einige Muskelextraktstoffe des Dornhais (Acanthias vulgaris) nach Untersnchungen von Herrn Dr. Suwa 125
Herr *Engeland*: Zur Kenntnis der Eiweissstoffe . . . . . 128
Herr *Römer*: Ueber ein tuberkulose-prognostisches Verfahren 133
Herr *Richarz*: Neue Methoden zur Bestimmung der specifischen Wärmen von Gasen . . . . . 142
Herr *Bergengrün*: „Epithelperlen" und Epithelstränge in der Raphe des harten Gaumens . . . . . 149
Herr *Take*: Ueber die Verwendung magnetisierbarer Heusler'scher Schmiedebronzen in elektrischen Messinstrumenten . . . . 165

506,43
G4

## III.

Seite

Herr *F. A. Schulze*: Ueber eine Bestimmung der oberen Hörgrenze durch Transversalschwingungen von Saiten . . . . . 172

Herr *Beneke*: Ueber die Ursachen der Entstehung der Gaumenspalten . . . . . 182.

Herr *Veit*: Ueber Vornierenrudimente und ihre Beziehung zur Urniere beim Menschen . . . . . 193

Herr *F. A. Schulze*: Die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von Spannung und Torsion . . . . . 224

Herr *R. Ullrich*: Bestimmungen von Dampfdichten nach der Bunsen'schen Ausströmungsmethode . . . . . 232

Herr *E. Koch*: Nachweis der magnetischen Wirkung der dielektrischen Verschiebungsströme in ruhenden Dielektricis . . . 235

Herr *C. Henrich*: Nachweis der ponderomotorisch-elektrostatischen Wirkung der Induktion . . . . . 236

Aufgelegte Schriften, Seite 30, 54, 131, 148

# Verzeichnis der Mitglieder*)

(am Schluss des Jahres 1909).

## Ehrenmitglieder.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Retzius, Gustav*, Prof. emerit. der Anatomie, Stockholm . | 18. | 1. | 99. |
| *Marchand, Felix*, Dr. med., o. Prof. d. path. Anat., Geh. Med.-Rat, Leipzig . . . . . | 9. | 1. | 01. |
| *Hittorf, Wilhelm*, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Geh. Reg.-Rat, Münster . . . . . | 19. | 11. | 01. |
| *Graf Zeppelin*, Dr. ing., Exzellenz, Friedrichshafen . . . | 5. | 8. | 08. |

## Einheimische Mitglieder.

### A. Ordentliche.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ahlfeld, Friedrich*, Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie, Geh. Med.-Rat . . . . . | 11. | 7. | 83. |
| *Bach, Ludwig*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie . . | 28. | 11. | 00. |
| *Bauer, Max*, Dr. phil., o. Prof. d. Mineralogie, Geh. Reg.-Rat | 11. | 3. | 85. |
| *v. Behring, Emil*, Dr. med.. o. Prof. d. Hygiene, Wirkl. Geh. Rat | 15. | 5. | 95. |
| *Beneke, Rudolf*, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie . | 14. | 11. | 06. |
| *Bonhoff, Heinrich*, Dr. med., o. Prof. der Hygiene . . . | 9. | 3. | 04. |
| | (8. | 11. | 99) |
| *Disse, Joseph*, Dr. med., o. Honorar-Professor d. Anatomie u. I. Prosector . . . . . | 13. | 11. | 95. |
| *Feussner, Wilhelm*, Dr. phil., a. o. Prof. der Physik . . | 14. | 7. | 81. |
| | (10. | 6. | 69) |
| *Friedrich, Paul*, Dr. med., o. Prof. d. Chirurgie, Geh. Med.-Rat | 12. | 2. | 08. |
| *Fischer, Theobald*, Dr. phil., o. Prof. d. Geographie, Geh. Reg.-Rat | 28. | 11. | 88. |
| *Gasser, Emil*, Dr. med., o. Prof. d. Anatomie. Geh. med.-Rat | 27. | 1. | 88. |
| | (16. | 7. | 74) |

*) Die Daten bedeuten den Teg der Ernennung, die in Parenthese gesetzten Daten den Tag der Ernennung zum ausserordentlichen Mitglied.

*Hensel, Kurt,* Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . . 10. 12. 02.
*Kayser, Emanuel,* Dr. phil., o. Prof. d. Geologie, Geh. Reg.-Rat 13. 1. 86.
*Kohlrausch, Friedrich,* Dr. phil., Präsident der physikalisch-technischen Reichsanstalt a. D. . . . . 8 2. 05.
*Korschelt, Eugen,* Dr. phil., o. Prof. der Zoologie . . . 26. 7. 93.
*Kutscher, Friedrich,* Dr. med., a. o. Professor der Physiologie 12. 2. 08.
(16. 2. 98)
*Mannkopff, Emil,* Dr. med., a. o. Prof. d. inn. Med., Geh. Med.-Rat 8. 5. 67.
*Meisenheimer, Johannes,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doc. d. Zool. 5. 8. 08.
(16. 2. 98)
*Meyer, Arthur,* Dr. phil., o. Prof. d. Botanik . . . . . 4. 11. 91.
*Neumann, Ernst,* Dr. phil., a. o. Professor der Mathematik 8. 5 07.
(13. 12. 05)
*Ostmann, Paul,* Dr. med., a. o. Professor der Otologie . . 13. 11. 95.
*Rathke, Bernhard,* Dr. phil., o. Hon.-Prof. der Chemie . . 14. 3. 84.
*Richarz, Franz,* Dr. phil., o. Professor der Physik . . . 15. 5. 01.
*Schenck, Friedrich,* Dr. med., o. Professor der Physiologie 15. 5. 01.
*Schmidt, Ernst,* Dr. phil., o. Prof. d. pharm. Chem., Geh. Reg.-Rat 11. 3. 85.
*Schulze, Franz Arthur,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doc. d. Physik 5. 8. 08.
(31. 7. 01)
*Tuczek, Franz,* Dr. med., o. Prof. d. Psychiatrie, Geh. Med.-Rat 15. 5. 95.
(14. 3. 90)
*Zincke, Theodor,* Dr. phil., o. Prof. d. Chemie, Geh. Reg.-Rat 13. 1. 76.

## B. Ausserordentliche.

*Brauer, Ludolf,* Dr. med., o. Prof. d. Med., Dir. d. med. Klinik 14. 12. 04.
*Diels, Ludwig,* Dr. phil., a. o. Prof. der Botanik . . . . 28. 7. 09.
*v. Dalwigk, Friedrich,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doc. d. Mathemat. 9. 5. 00.
*v. Drach, Alhard,* Dr. phil., a. o. Prof. der Mathematik . 11. 7. 66.
*Fries, Carl,* Dr. phil., Abteilungsvorsteher am chem. Institut 9. 3. 04.
*Gürber, August,* Dr. med. et phil., a. o. Professor, Director des pharmakol. Institutes . . . . . 9. 12. 08.
*Haselhoff, Emil,* Dr. phil., Prof., Dir. d. landw. Versuchsstation 11. 2. 03.
*Hildebrand, Heinrich,* a. o. Professor der Medicin . . . 14. 12. 04.
*Jahrmärker, Max,* Dr. med., Prof., Privat-Doc., Oberarzt d. psychiatr. Klinik . . . . . 9. 2. 04.
*Krauss, Wilhelm,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc. d. Augenheilkunde 10. 7. 07.
*Lohmann, Alfred,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc. der Physiologie . . . . . 8. 2. 05.
*Neide, Ernst,* Dr. phil. . . . . 13. 1. 04.
*Reissert, Arnold,* Dr. phil., Professor, Priv.-Doc. d. Chemie 11. 2. 03.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Rieländer, August,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc. der Gynaekologie | 13. | 6. | 06. |
| *Römer, Paul,* Dr. med., a. o. Professor d. Hygiene. | 9. | 2. | 04. |
| *Schwantke, Arthur,* Dr. phil., Assistent am mineral. Institut | 21. | 6. | 99. |
| *Rühl, Alfred,* Dr. phil., Priv.-Doc. | 28. | 7. | 09. |
| *Siebert, Carl,* Dr. phil., Chemiker | 14. | 5. | 02. |
| *Stoeckel, Walter,* Dr. med. o. Prof. der Medicin, Director der Frauenklinik und Hebammen-Lehranstalt | 5. | 8. | 08. |
| *Stuchtey, Karl,* Dr. phil., Assistent a. physik. Institut | 9. | 12. | 08. |
| *Take, Emil,* Dr. phil., Assistent a. physik. Institut | 9. | 12. | 08. |
| *Tönniges, Carl,* Dr. phil., Assistent am zoolog. Institut | 16. | 2. | 98. |
| *Veit Otto,* Dr. med., II. Prosektor i. V. | 28. | 7. | 09. |
| *Wegener, Alfred,* Dr. phil., Priv.-Doc. | 28. | 7. | 09. |
| *Weidenmüller, Carl,* Dr. phil., Gymn.-Oberlehrer a. D., Prof. | 14. | 4. | 82. |

## Auswärtige Mitglieder.*)

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ach, Narciss,* Dr. med. et. phil., Professor der Philosophie, Königsberg | (8. | 2. | 05) |
| *Ackermann, Dankwart,* Dr. med., Priv.-Doc. d. Physiologie Würzburg | (5. | 8. | 08) |
| *Aschoff, Ludwig,* o. Prof. d. patholog. Anatomie. Freiburg i. Br. | 17. | 6. | 03. |
| *Axenfeld, Theodor,* Dr. med., o. Prof. d. Ophthalm., Freiburg i. Br. | (15. | 1. | 96) |
| *Barth, Adolf,* Dr. med., o. Prof. d. Otologie, Leipzig | 4. | 11. | 91. |
| *Barth, Arthur,* Dr. med., Prof., Oberarzt, Danzig | (13. | 11. | 95) |
| *Böhm, Rud.* Dr. med., o. Prof. d. Pharm., Geh. Med.-Rat, Leipzig | 20. | 5. | 81. |
| *Borrmann, Rob.,* Dr. med., Priv.-Doc. d. path. Anatom., Göttingen | (14. | 5. | 02) |
| *Brauer, August,* Dr. phil., Professor, Direktor des naturhistorischen Museums, Berlin | 17. | 5. | 99. |
| | (17. | 6. | 96) |
| *Braun, Ferdinand,* Dr. phil., o. Prof. der Physik, Strassburg | (8. | 2. | 78) |
| *Braun, Heinrich,* Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Med.-Rat, Göttingen | 14 | 4. | 90. |
| *Brauns, Reinhard,* Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Bonn | (27. | 1. | 88) |
| *Buchholz, Adolf,* Dr. med., Prof., Oberarzt, Hamburg | 8. | 12. | 97. |
| *Busz, Carl,* Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Münster | (19. | 6. | 95) |
| *Dietrich, Theodor,* Dr. phil., Prof., Geh. Reg.-Rat. Hannover | (15. | 1. | 96) |
| *Drevermann, Fritz,* Dr. phil., Priv.-Doc., Frankfurt | (11. | 2. | 03) |
| *Enderlen, Eugen,* Dr. med., Prof. der Chirurgie, Würzburg | 12. | 2. | 97. |
| *Falk, Ferdinand, August,* Dr. med., a. o. Prof. d. Pharm., Kiel | 28. | 4. | 75. |

*) Die mit einem * bezeichneten siud korrespondierende, die sämtlichen übrigen ehemalige einheimische Mitglieder.

*Fraenkel, Carl*, Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Halle . . 4. 11. 91.
*Fuëter, Rudolf*, o. Professor der Mathematik, Basel . . . (3. 5. 07)
*Gadamer, Johannes*, Dr. phil., o. Prof. der pharmaceut. Chemie, Breslau . . . . . (9. 3. 98)
*Goebel, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Botanik, München . . 27. 1. 88.
*Heffter, Arthur*, Dr. phil., et med., o. Professor der Pharmakologie, Berlin . . . . . 14. 11. 06.
*Heine, Leopold*, o. Prof. der Ophthalmologie, Kiel . . . (18. 1. 99)
*Hermann, Theodor*, Dr. phil., Hanau . . . . . (2. 7. 68)
*Hess, Carl*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmol., Würzburg 11. 11. 90.
*Hess, Otto*, Dr med., Prof., Priv.-Doc. der inneren Med., Oberarzt, Göttingen . . . . . (25. 6. 02)
**Heusler, Fritz*, Dr. phil., Dillenburg . . . . . 8. 2. 05.
*Jung, Heinrich*, Dr. phil., Priv.-Doc. der Mathematik, Oberlehrer, Hamburg . . . . . 13, 12. 05.
*v. Koenen, Adolf*, Dr. phil., o. Prof. der Geologie, Geh. Berg.-Rat, Göttingen . . . . . 28. 4. 75.
*Kohl, Friedrich*, Dr. phil., a. o. Prof. d. Botanik, Leipzig 13. 11. 95. (6. 8. 84)
*Kossel, Albrecht*, Dr. med., o. Prof. der Physiol., Heidelberg 15. 5. 95.
*Krehl, Ludolf*, Dr. med., o. Prof. d. inn. Med. Heidelberg 8. 11. 99.
*Küster, Fr. Wilh.*, Dr. phil., o. Prof., Gutsbes., Müncheberg b. Berlin . . . . . (26. 7. 93)
*Küster, Ernst*, Dr. med., o. Prof. d. Chirurgie, Geh. Reg.-Rat, Berlin . . . . . 4. 11. 91.
*Küttner, Hermann*, Dr. med., o. Prof. d. Chirurg., Breslau 2. 8. 05.
*Loewi, Otto*, Dr. med.. a. o. Prof. der Pharmakologie, Wien (15. 5. 01)
*Lotz, Heinrich*, Dr. phil., Geologe, Berlin . . . . . (13. 12. 99)
*Meyer, Hans*, Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie. Wien 11. 3. 85.
*Müller, Friedrich*, Dr. med., o. Prof. d. inn. Med., München 26. 4. 98.
*Noll, Alfred*, Dr. med., a. o. Prof., Jena . . . . . (16. 2. 95)
*Oestreich, Carl*, Dr. phil., o. Prof. d. Geographie, Utrecht (9. 3. 04)
*Opitz, Erich*, Dr. med., Prof., Direkt. d. Frauenkl., Düsseldorf (13. 1. 04)
*Pfannkuch, Wilh.*, Dr. med., prakt. Arzt, Cassel . . . . (17. 1. 72)
*Pfeffer, Wilh.*, Dr. phil., o. Prof. d. Botanik, Geh. Hofrat, Leipzig (27. 4. 71)
*Plate, Ludwig*, Dr. phil., o. Professor der Zoologie, Jena (27. 1. 88)
*Plenge, Enriquez*, Dr. med. Heidelberg . . . . . (7. 3. 99)
*Ransom, Frederick*, Dr. med. Cambridge . . . . . (7. 3. 99)
**Rehn, Joh. Heinrich*, Dr. med., San.-Rat, Frankfurt a. M. 26. 11. 80.
*Rein, Johannes*, Dr. phil., o. Prof. d. Geogr., Geh. Reg.-Rat, Bonn 1. 12. 76.
*Ribbert, Hugo*, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie, Bonn 20. 6. 00.
*Romberg, Ernst*, Dr. med., o. Prof. der klin. Medicin, Tübingen 20. 5. 00.

*Rost, Eugen*, Dr. med., Regierungsrat, Berlin . . . . . (16. 2. 98)
*Rubner, Max*, Dr. med. o.Prof.d.Physiol.,Geh.Med.-Rat,Berlin 13. 1. 86.
*Rumpf, Theodor*, Dr. med., Prof., Bonn . . . . . 14. 3. 90.
*Rupp, Erwin*, Dr. phil., a. o. Prof. für Pharmacie, Königsberg (14. 12. 04)
*Ruppel, Wilhelm*, Dr. phil., Prof., Höchst . . . . . (18. 7. 00)
*Schaum, Carl*, Dr. phil. a. o. Prof. d. physik. Chemie, Leipzig 13. 12. 05
*Schenck, Rudolf*, Dr. phil., o. Prof. d. phys. Chemie, Aachen (11. 8. 97)
*Schmidt-Rimpler, Hermann*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Halle . . . . . 15. 11. 71.
*Schottelius, Max*, Dr.med., o.Prof.d.Hyg., Hofrat,Freiburg i.B. (11. 7. 79)
*Schottky, Friedrich*, Dr. phil., o, Prof. d. Math., Berlin . 15. 5. 95.
*Schridde, Hermann*, Dr. med., Privatdoc. d. pathol. Anatomie, Freiburg i. Br. . . . . (13. 12. 05)
*Schwenkenbecher, Alfred*, Dr. med., Prof., Direktor der med. Klinik, Frankfurt a. M. . . . . (13. 5. 08)
*Seddig, Max*, Dr. phil., Frankfurt . . . . . (17. 6. 03)
*Seemann, John*, Dr. med., Privatdoc. d. Physiologie, München (5. 6. 02)
*Siemens, Friedrich*, Dr. med., Geh. Med.-Rat, Dir. d. Landesirrenanstalt Lauenburg i. P. . . . . (19. 12. 79)
* *Speck, Carl*, Dr. med., San.-Rat, Kreis-Physik. Dillenburg 5. 4. 71.
*Strahl, Hans* Dr. med., o. Prof. der Anatomie, Giessen . 27. 1. 88.
(14. 12. 80)
*Straub, Walther*, Dr. med., o. Prof. d. Pharmakol., Freiburg (13. 12. 05)
*Study, Eduard*, Dr. phil., o. Prof. d. Mathematik, Bonn . (14. 3. 90)
*Thumb, Albert*, o. Prof. d. indog. Sprachen, Strassburg . (14. 2. 03)
*Uthoff, Wilhelm*, Dr. med. o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Breslau . . . . . 4. 12. 91.
*Weber, Heinrich*, Dr. phil., o. Prof. d. Mathematik, Strassburg 11. 3. 85.
*Wendel, Walther*, Dr.med., Professor, Director des städtischen Krankenhauses Magdeburg-Sudenburg . . . . . (12. 2. 02)
*Wernicke, Erich*, Dr. med., Professor, Director des hygien Instituts in Posen . . . . . 16. 2. 98.
(10. 2. 97)

## Der Vorstand.

*E. Kayser*, Vorsitzender. *Fr. Kutscher*, Ständiger Schriftführer

### Engerer Ausschuss.

*E. Korschelt*, Stellvertretender Vorsitzender, *F. Richarz, F. Schenck*

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 1 Januar 1909


In der Sitzung vom 13. Januar hielt Herr F. Schenck den Vortrag:

### Beiträge zur allgemeinen Muskelphysiologie.

#### 1. Verfahren zur Summation von vier Zuckungen.

Verwendet werden vier Schlitteninduktorien. Jede primäre Rolle ist in je einen besonderen primären Stromkreis mit Akkumulatorelement als Stromquelle und je einem an dem Myographion angebrachten durch die bewegte Schreibtrommel zu öffnenden Kontakte eingeschaltet. Die vier nebeneinander am Myographionstativ angebrachten Reizkontakte werden durch vier Stifte geöffnet, die an der Trommel so verstellbar angebracht sind, dass das Intervall zwischen je zwei Reizen beliebig variiert werden kann. Das Myographion ist ein solches mit Antrieb durch fallendes Gewicht. In den sekundären Stromkreis werden alle vier sekundären Rollen zusammen und ausserdem noch das zu reizende Präparat eingeschaltet. Das Verfahren gestattet in einfachster und sicherer Weise bei Summation von mehreren Zuckungen eine beliebige Variation der Stärke der einzelnen Reize unabhängig von einander und des Reizintervalls. Leicht zu ersehen ist,

dass bei Vermehrung der Zahl der Induktionsapparate und der Kontakte auch noch mehr, als vier Reize verwendet werden können.

**2. Superposition isotonischer auf isometrische Zuckungen.**

Der ausgeschnittene Froschgastroknemius wird mit seinem oberen Ende an einen Spannungszeichner, mit seinem unteren an einen Längenzeichner befestigt. Der Muskel kann belastet werden durch Anspannen einer Spiralfeder, welche in der von Grützner angegebenen Weise am Längenzeichner angebracht ist. Bei ungedehntem Muskel wird nun zunächst ein Lager unter dem Längenzeichner festgestellt, und dann durch Anspannen der Feder der Längenzeichner gegen dieses Lager gedrückt, ohne dass der Muskel gedehnt wird. Die Spannung der Feder wird nur so stark gewählt, dass der Muskel bei einer einzelnen maximalen Zuckung den Längenzeichner gerade nicht mehr zu heben vermag, er vollführt dann also eine isometrische Zuckung. Wird dann während des Ablaufes der isometrischen Zuckung der Muskel noch mit einem zweiten Reize gereizt, so kann nun, falls der zweite Reiz einen Zuwachs an Verkürzungskraft hervorruft, der Muskel jetzt den Hebel erheben und weiter einen isotonischen Akt vollführen, bis der Hebel bei der Wiederverlängerung des Muskels sich wieder auf das Lager aufsetzt. Es ergab sich, dass bei einer so auf eine isometrische Zuckung superponierten isotonischen noch eine erhebliche Verkürzung zustande kam, die unter günstigen Bedingungen (Superposition kurz vor dem Gipfel der isometrischen Zuckungskurve) oft gerade so gross war, wie die Verkürzung bei einer einzelnen isotonischen Zuckung mit derjenigen Spannung, welche gleich der bei isometrischer Zuckung und Anfangsspannung 0 erreichten grössten Spannung war. Noch erheblicher wurde die Verkürzung, wenn nicht nur eine, sondern zwei oder drei isotonische Zuckungen erst auf die isometrische und dann aufeinander superponiert wurden, und in diesen Fällen wurden

die Bedingungen für möglichst grosse Verkürzung noch günstiger, wenn die isometrische Zuckung nicht von der Anfangsspannung 0, sondern von grösserer Anfangsspannung ausging. Bei sehr grosser Anfangsspannung werden die Verhältnisse freilich wieder ungünstig. Alle diese Versuche, sowie weitere, in denen isotonische Zuckungen auch auf zwei oder drei summierte isometrische aufgesetzt wurden, ergaben das allgemeine Resultat, dass die günstigsten Bedingungen für die Superposition, d. h. Erzielung von möglichst grosser isometrischer Selbstanspannung des Muskels und darauf folgender erheblicher isotonischer Verkürzung dann vorliegen, wenn die Länge des Muskels während des ganzen Summationsversuches noch nicht erheblich abweicht von der Länge, die der Muskel im ungedehnten oder nur schwach gedehnten ruhenden Zustande hat.

Von theoretischem Interesse sind diese Versuche, weil sie erkennen lassen, dass der Muskel unter besonderen Bedingungen in der Einzelzuckung und bei hoher Unterstützung der Last bei weitem noch nicht den Verkürzungsgrad erreichen kann, den er unter diesen günstigen Bedingungen bei der Summation (unter Ausschluss von Beteiligung der Treppe, der Kontraktur u. A.) erreicht, und dass das von v. Frey so bezeichnete Moment der Zusammensetzung unter geeigneten Versuchsbedingungen eine sehr viel grössere Rolle bei der Summation spielt, als die Selbstunterstützung. Nur bei schwächeren Belastungen tritt das Moment der Selbstunterstützung mehr hervor.

### 3. Einfluss der Länge des ungedehnten und gedehnten Muskels auf den Ablauf der Kontraktionswelle.

Durch frühere Untersuchungen meines Schülers Feser[1]) ist festgestellt worden, dass die Zeit, welche die Erregungsleitung in einem Muskelstück braucht, bei ungedehntem und

1) Dissertation. Würzburg 1896 und Pflügers Archiv, Bd. 64, S. 179.

gedehntem Muskel die gleiche ist, dass also die in üblicher Weise berechnete Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Kontraktionswelle in dem durch Dehnung verlängerten Muskel proportional der Dehnungsverlängerung wächst. Mit Rücksicht darauf, dass neuere theoretische Betrachtungen Bethe's[1]) Zweifel an der Richtigkeit dieses Befundes aufkommen lassen könnten, habe ich die früheren Befunde einer Nachprüfung mit anderer verbesserter Methodik unterzogen; in den neuen Untersuchungen konnte ich die alten Befunde voll und ganz bestätigen.

1) Pflügers Archiv, Bd. 122, S. 5.

Darauf hielt Herr Kutscher den Vortrag:

## Uber Krabbenextrakt.

Seitdem in den deutschen Flüssen die Krebse selten geworden sind, hat die Industrie eine Anzahl Handelsprodukte auf den Markt geworfen, die gestatten sollen, billige und wohlschmeckende Krebssuppen zu bereiten. In der Regel werden die unter dem Namen Krebsextrakt, Krebsbutter etc. auftauchenden Präparate so dargestellt, dass man gekochte, leere Krebs- und Hummerpanzer mit heissem Fett auszieht. Der schöne, rote Farbstoff der Crustaceenschalen geht in das Fett und man kann mit diesem Fett eine aus Rindfleisch dargestellte Brühe versetzen und färben. Wasserlösliche Extraktstoffe, an die der den Krebsen eigentümliche Geruch und Geschmack hauptsächlich gebunden ist, sind in den gewöhnlichen Handelspräparaten meist nur in Spuren vorhanden.

In letzter Zeit wird jedoch von einer bestimmten Firma unter dem Namen Krabbenextrakt eine Ware vertrieben, deren wässerige Lösung auch wirklich nach Krebsen riecht und schmeckt, frei von Fett und reich an wasserlöslichen Extraktstoffen ist. Sie stellt nach den Angaben der Firma eine eingedickte Fleischbrühe dar, die aus den Nordseegarneelen (Crangon vulgaris) gewonnen wird. Dieser Krabbenextrakt wäre demnach in ganz ähnlicher Weise bereitet, wie die bekannten Fleischextrakte des Handels, bei denen Rindfleisch als Ausgangsmaterial benutzt wird. Die genaue Kenntnis derartiger Extrakte ist nun für die Ernährungsphysiologie von einigem Interesse, deshalb ist von Ackermann und mir auch der Krabbenextrakt näher untersucht worden.

Bisher sind daraus von uns folgende krystallinische Substanzen dargestellt worden:

1. Hypoxanthin,
2. Leucin,
3. Tyrosin,
4. Arginin,
5. Lysin,
6. Betain,
7. Neosin,
8. Methylpyridylammoniumhydroxyd,
9. Eine Base der Formel $C_{13}H_{20}N_2O_4$,
10. „ „ „ „ $C_{13}H_{26}N_2O_3$,
11. Fleischmilchsäure.

Einzelne der aufgeführten Körper haben sich auch im gewöhnlichen Fleischextrakt nachweisen lassen, nämlich das Hypoxanthin, Neosin und die Fleischmilchsäure. An Stelle des Arginins findet man hier dagegen das nahe verwandte Kreatin.

In der Sitzung vom 13. Januar sprach Herr Arthur Schwantke über:

## Entmischung labiler isomorpher Mischungen in der Feldspatgruppe.

Durch seine Beobachtungen an gewissen diallagartig struierten Augiten, über die in früheren Jahren an dieser Stelle berichtet wurde,[1]) war der Verfasser auf die Analogien aufmerksam geworden, die zwischen dieser Struktur und der Mikroklinstruktur bestehen, und zur Erklärung der Erscheinungen beim Augit zu der gleichen Annahme geführt worden, die R. Brauns zur Erklärung der Mikroklinstruktur gemacht hatte, nämlich dass es sich um eine sekundäre Erscheinung handelt, verursacht durch eine Labilität der isomorphen Mischung zweier Komponenten von verschiedenem Symmetriegrade, die in der Symmetrie des höher symmetrischen Gliedes kristallisiert sind und eine Umlagerung in die niedriger symmetrische Kristallform erleiden.

In einer späteren Mitteilung[2]) wurden diese Verhältnisse unter dem Gesichtspunkt des kristallochemischen Gleich-

---

1) Diese Sitzungsberichte, Juli 1905, Nr. 6.

2) Ebenda März 1907, Nr. 3.

gewichts besprochen. Es ergab sich, dass wir durch diese Annahme eine Erklärung für einige der interessanten polysymmetrischen Körper finden können und dass sich solche Erscheinungen, wie wir sie bei den Feldspäten und Pyroxenen beobachten, auch noch in anderen Fällen, z. B. in der Epidotgruppe, nachweisen lassen.

Ganz unabhängig davon ist später W. Wahl[1]) zur Betrachtung dieser Analogien zwischen der Feldspat- und der Pyroxengruppe gekommen, wobei er neben der Mikroklinstruktur auch die Perthitstruktur behandelt. Demselben Verfasser verdanken wir eine wichtige Arbeit über die kalkarmen monoklinen Pyroxene,[2]) also gerade der an der Grenze zwischen rhombischem und monoklinem Augit stehenden Glieder. Die Ansicht dieses Autors weicht aber von der hier vertretenen ab, indem er eine Dimorphie, also die Existenz einer höher und einer niedriger symmetrischen Modifikation, annimmt; auch wendet er sich noch besonders gegen die Auffassung als polysymmetrische Körper von P. Groth.

Wir haben also drei Ansichten, da die hier vertretene Anschauung sich wieder von der zuletzt erwähnten dadurch unterscheidet, dass nach ihr wirklich zwei verschiedene Komponenten [Kalifeldspat monoklin, Natronfeldspat triklin und (*Mg, Fe*) $SiO_3$ (Enstatit, Bronzit) rhombisch, $CaSiO_3$ (Wollastonit und in den monoklinen kalkhaltigen Augiten) monoklin] existieren, während nach Groth die höher symmetrische Modifikation eines polysymmetrischen Körpers nur scheinbar von höherer Symmetrie ist und in Wirklichkeit eine submikroskopische Zwillingsverwachsung von innig feinen Lamellen der niedriger symmetrischen Form darstellt. Eine vierte Annahme wäre diejenige, dass die monoklinen Feld-

1) Öfversigt af Finska Vetenskabs-Societetens Förhandlingar. L 1906/7 No. 2. Helsingfors 1908 (deutsch).

2) Die Enstatitaugite. Helsingfors 25. Mai 1906 und Tschermaks min. u. petr. Mitt. XXVI. Bd. Heft 1 u. 2. 1907.

späte in Wahrheit triklin sind und nur pseudo-monosymmetrischen Habitus besitzen[1]), dass also das Glied von scheinbar höher symmetrischer Form nur einen Grenzfall darstellt.

Gegen die Annahme einer primären submikroskopisch lamellaren Struktur im Orthoklas und die spätere Herausbildung mikroskopisch sichtbarer Zwillingslamellen im Mikroklin spricht nach der Meinung des Verf. vor allem ein Umstand. Wir sehen vielfach, dass in den Fällen der Annäherung an höhere Symmetrie sehr auffällig das Bestreben des wachsenden Kristalls auftritt, die fehlenden Symmetrieelemente durch Zwillingsbildung nach eben diesen Kristallflächen oder Kanten [z. B. nach der fehlenden Symmetrieebene beim Albitgesetz, nach der fehlenden Symmetrieaxe beim Periklingesetz] zu ergänzen. Man könnte also sehr wohl annehmen, dass diese Zwillingsbildung umso intensiver (also durch immer häufigere Wiederholung in immer feinerer Lamellierung) zur Geltung kommen müsste, je grösser die Annäherung an die höher symmetrische Kristallstruktur ist; dann wird man aber auch annehmen müssen, dass der Bau des Zwillingskristalls umso fester und stabiler sein wird, je inniger die Zwillingsbildung ist; die Umlagerung würde diesem offensichtlichen Bestreben gerade entgegengesezt gerichtet sein. Dass man bei Annahme immer feinerer Lamellen schliesslich bis zur Grösse des Moleküls, also tatsächlich zur höher symmetrischen Kristallstruktur kommt, hat der Verf. schon in der vorigen Mitteilung hervorgehoben. Dass die optischen Eigenschaften eines solchen submikroskopischen Zwillingsgebildes mit denen des einfachen höher symmetrischen Kristalls übereinstimmen können, hat Michel-Lévy für Mikroklin und Orthoklas gezeigt.

Eine einwandfreie Entscheidung wird sich ebensowenig in der Frage, ob Dimorphie oder nicht, treffen lassen, so

---

1) vergl. C. Hintze, Handb. d. Mineralogie II 1332 u. Anm. 2.

lange nicht die Doppelexistenz einer der Komponenten im chemisch reinen Zustande in den Formen der höheren und der niederen Symmetrie bewiesen ist, also z. B. neben Albit reiner Natronorthoklas ohne Kali, neben Enstatit $MgSiO_3$ in monokliner Form. Auch W. Wahl hält die Frage für Orthoklas und Mikroklin nicht für entschieden (l. cit. 10 d. Sep.-Abdr.). Wesentlich ist ihm hier die Analogie mit der Pyroxengruppe. Für die letztere konnte er sich auf die Untersuchungen von E. T. Allen, F. E. Wright und J. K. Clement[1]) beziehen, die in der Tat glaubten die Dimorphie von $MgSiO_3$ in der Augitgruppe nachgewiesen zu haben. Der Verf. bemerkte in seinem Vortrage, dass nach seiner Meinung die Existenz des monoklinen $MgSiO_3$ noch keineswegs als sicher anzusehen sei, dass sich diese beiden Modifikationen zum Teil ähnlich zu einander verhalten würden wie die hypothetischen dimorphen Natronfeldspäte. Er behielt sich vor, hierauf später einzugehen, da sich die nachfolgenden Ausführungen nur mit der Feldspatgruppe beschäftigen sollen. Noch vor dem Druck dieses Berichtes ist eine Arbeit von F. Zambonini erschienen[2]), der in der Tat die Übereinstimmung des „Klinoenstatits“ mit dem gewöhnlichen rhombischen Enstatit erweist. Es sei gestattet, seine Resultate hier noch hinzuzufügen (l. cit. 12): „Wir gelangen also zu dem Resultate, dass Enstatit und Klinoenstatit äusserst nahe stehende Krystallformen, gleiche Spaltbarkeitsverhältnisse, gleiches spez. Gewicht, gleiche Brechungsindices besitzen. Fügen wir noch hinzu, dass kein bestimmter Umwandlungspunkt zwischen diesen zwei behaupteten polymorphen Modifikationen existiert, so entsteht die Frage, wo die Unterscheidungsmerkmale dieser »Modifikationen« zu finden sind. . . . . Nach dem

1) Minerals of the Composition $MgSiO_3$; a Case of Tetramorphism. Am. Journ. of Science. 172. 4. Ser. Vol. XXII. 1906. 385.

2) Die morphotropischen Beziehungen zwischen Enstatit, Diopsid, Hedenbergit, Ägirin und Spodumen. Zschr. f. Krystallographie u. Min. 46, 1909, 1.

jetzigen Stande unserer Kenntnisse können wir also schliessen, dass Enstatit und Klinoenstatit keine polymorphen Modifikationen darstellen."

Die Entstehung des Mikroklin aus Orthoklas ist — ganz gleich, ob wir die Auffassung von P. Groth als polysymmetrische Umlagerung oder die hier vertretene Ansicht von R. Brauns als Umwandlung in die stabile Form der niederen Symmetrie annehmen wollen — mehr ein physikalischer Akt, bei dem sich an der chemischen Beschaffenheit des Ganzen nichts ändert. Es entsteht nur aus dem vorher optisch einheitlichen Kristall das bekannte gitterartig verzwillingte Gebilde des Mikroklin (cf. Tafel, Fig. 1). In der Diallagstruktur finden wir noch etwas anderes. Solche Augite sind nur zum Teil ein System von Lamellen der monoklinen Modifikation, zum Teil sind diese auch verwachsen mit gleich orientierten Lamellen von rhombischem Pyroxen. Hier findet also eine Scheidung beider Modifikationen statt und wir werden nunmehr eine chemische Verschiedenheit der einzelnen Teile annehmen müssen. W. Wahl vergleicht diese Gebilde mit dem Perthit der Feldspäte und schlägt vor, sie als Pyroxenperthit zu bezeichnen. In der Tat haben wir auch hierin noch eine weitergehende Analogie zwischen der Feldspat- und der Augitgruppe.

Der Name Perthit wurde von Thomson einem Feldspat von Perth in Canada gegeben, der sich später durch die Analyse als Natronkalifeldspat erwies und durch weitere Untersuchungen als eine Verwachsung von Orthoklas mit Albit erkannt wurde. Die petrographischen Forschungen ergaben dann, dass solche mikroskopische Verwachsungen der beiden Feldspäte sehr verbreitet sind, und F. Becke führte dafür den Namen Mikroperthit ein. W. C. Brögger bezeichnete auf Grund der Erkenntnis, dass sich solche Mikroperthite durch sekundären Zerfall des Natronorthoklases in Kalifeldspat und Albit erklären liessen, diese z. T. noch vorhandene Natronorthoklassubstanz als Kryptoperthit.

H. Rosenbusch[1]) meint: „Es dürften auf diese Weise vielleicht alle denkbaren Übergänge von mikroskopischer lamellarer Verwachsung bis geradezu isomorpher Mischung vorkommen, wie andrerseits alle Übergänge von diesen mikroskopischen Verwachsungen, welche Fr. Becke sehr glücklich mikroperthitische genannt hat, zu den makroskopischen bekannt sind."

Die gewöhnlichen Perthite sind Verwachsungen eines überwiegenden Kalifeldspates mit Albit oder Plagioklas. Je nach der Natur des ersteren unterscheidet man dann auch Orthoklasperthite und Mikroklinperthite oder -mikroperthite. Es kommt aber auch der umgekehrte Fall vor, dass die Plagioklassubstanz überwiegt, also gleichsam der Wirt ist, und F. E. Suess[2]) bezeichnet diese nach einem Vorschlage F. Beckes als Antiperthite. Es erübrigt hier, auf eine weitergehende Diskussion der Perthite einzugehen; es sei auf die Zusammenstellung von O. Wenglein[3]) und die andere Literatur verwiesen.

---

1) H. Rosenbusch und E. A. Wülfing, Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. 2. Hälfte, spezieller Teil 4. Aufl. von H. Rosenbusch. 1905. 306.

2) Ueber Perthitfeldspäte aus kristallinischen Schiefergesteinen. Jahrbuch der K. K. geolog. Reichsanstalt LIV. Bd. 1904. Wien 1905. 419.

3) Ueber Perthitfeldspäte. Inauguraldissertation Kiel 1903. — Es sei bei dieser Gelegenheit ein Vorwurf zurückgewiesen, der dem Verf. in der erwähnten Diss. gemacht wird. O. Wenglein schreibt p. 63: „Dass Lehmann den Mikroklin überhaupt als eine solche Albitpseudomorphose auffasst, wie Schwantke berichtet, ist eine völlig falsche Darstellung." Es handelt sich um einen Passus meiner Monographie: Die Drusenmineralien des Striegauer Granits, Leipzig 1896, p. 16, die dort referierte Darstellung Lehmanns steht im 64. Jahresbericht d. Schles. Gesellsch. f. vaterl. Kultur i. J. 1886. Breslau 1887. 122. Man vergleiche:

| Lehmann: | Schwantke: |
|---|---|
| „Die grosse, mikroskopisch wahrnehmbare Menge des Albits weist nun ebenso wie das Studium | Becker betrachtete den Striegauer Feldspat als Orthoklas. Beutell wies dann nach, dass er als |

Figur 2 zeigt einen Mikroklinmikroperthit zum Vergleich mit dem einheitlichen Mikroklin in Fig. 1. Die hellen Bänder der Albiteinlagerungen in der Mikroklingrundmasse zeigen z. T. eine parallele Begrenzung und eine orientierte Richtung untereinander und zur Orientierung des Wirts, z. T. aber auch eine unregelmässige Verzweigung. Die Figur ist deshalb gewählt worden, um gewissermassen beide Arten der Verwachsung zu repräsentieren. Die Struktur der Perthite ist aber sehr mannigfaltig; die orientierten Einlagerungen gehen nach verschiedenen Flächen und Richtungen des Kalifeldspates und neben den ganz regelmässig orientierten Verwachsungen finden sich allerhand Zwischenstufen bis zu gänzlich unorientierten Einlagerungen. W. Wahl ist der Meinung [1]), dass die beiden Arten der orientierten und nichtorientierten Verwachsung „zwei verschiedene Typen von perthitischen Strukturen, die bei jeder Diskussion auseinander gehalten werden sollten", repräsentieren, und findet auch, dass sie an verschiedene Gesteine, die orientierten an solche der Alkalireihe, gebunden seien. In den letzteren tritt der Albit „auf allen möglichen unregelmässigen Sprüngen

---

jener Vorkommnisse überhaupt darauf hin, dass diese Feldspate gleichsam Pseudomorphosen von Albit nach Orthoklas sind und das trifft ganz besonders für die trüben Feldspate von Striegau und vom Hirschberger Tal zu" (im Original nicht gesperrt). Mikroklin im Sinne von Descloizeaux aufzufassen sei, wogegen sich später Lehmann wandte, der darauf hinwies . . . (folgt das Referat über die Ausführungen Lehmanns) . . . Er betrachtet deshalb den Mikroklin lieber „gleichsam als Pseudomorphose von Albit nach Orthoklas."

Selbst wer annehmen würde, dass ich in meiner Monographie nicht nur von Striegauer Mineralien handeln wollte, müsste doch durch den Anfang meines oben zitierten Abschnittes eines besseren belehrt werden. Dass ich aber berechtigt war, die Lehmann'sche Ansicht für den Striegauer Feldspat so anzuführen, wie ich es getan habe, ergibt der obige Vergleich.

1) l. cit. (Öfversigt etc.) 14 u. 15 d. Sep.-Abdr.

ausser auf bestimmten Spaltrichtungen[1]) auf.“ „Wenn der Natronfeldspat nun auch zuweilen in diesem Falle ursprünglich dem Kalifeldspat homogen beigemischt gewesen ist, so ist die Perthitstruktur in diesem Falle doch sicherlich eine sekundäre Erscheinung. Bei manchen von Druck relativ wenig beeinflussten sauren Graniten . . . ist die Perthitstruktur eine recht regelmässige, und deutlich sekundäre Spaltenausfüllungen kommen nicht vor. Die Struktur ist jedoch nicht die regelmässige unter a) erwähnte . . . und ist leicht von dieser zu unterscheiden, sie ist wahrscheinlich durch den Zerfall eines primär natronkalkreichen Kalifeldspats gebildet worden.“ Bezüglich der orientierten Perthite heisst es: „Da sie in Gesteinen vorkommen, die von Druckphänomenen oder zirkulierenden Lösungen nicht beeinflusst sind, dürften sie entweder eine ursprüngliche, durch gleichzeitige Kristallisation der Komponenten gebildete Verwachsung sein, oder durch späteren Zerfall (während der Abkühlung) eines bei der Kristallisation einheitlichen Feldspates gebildet worden sein.“ W. Wahl bemerkt endlich noch: „In mehreren in den letzten Jahren erschienenen Arbeiten sind diese zwei Typen nicht voneinander getrennt worden, und die Urteile über die Mikroperthitstruktur sind deshalb recht einseitig geworden.“ Aber man sieht, dass auch seine Anschauungen doch sehr von der theoretischen Annahme abhängen, die er über die Entstehung dieser Feldspäte macht.

Die Diskussion über den Mikroklin und die über den Perthit zeigen in ihrer Geschichte eine unverkennbare Analogie. Immer drängen sich die Tatsachen auf, die offensichtlich für eine sekundäre Natur dieser Gebilde sprechen, aber immer treten den Erklärungsversuchen wieder andere Fälle entgegen, die sich nicht gut damit vereinigen lassen. Zu der Erklärung einer Umwandlung durch Temperaturänderung oder durch Druck kommt bei den Perthiten noch die An-

1) von mir gesperrt.

nahme einer Umwandlung oder Stoffzuführung von aussen. Immer aber sind es äussere Faktoren, die den Umwandlungsprozess einleiten und die für die Erklärung aller Erscheinungen von Fall zu Fall ausgewechselt werden müssen.

Es ist sehr bezeichnend, dass noch O. Wenglein bei seinen zusammenfassenden Untersuchungen über die gesamten Perthitfeldspäte zu einer Ansicht gelangte, die wir — wenigstens nach der Ansicht des Verfassers — heut nicht mehr aufrecht erhalten werden, und die die eben angedeuteten Verhältnisse getreulich wiederspiegelt. Er fasst seine Resultate[1]) folgendermassen zusammen:

„Die Mikroklingitterung ist als eine nachträgliche Bildung aus Orthoklas anzusehen, die Ursache der Entwicklung dieser Form waren in der Hauptsache durch erhöhte Temperatur hervorgerufene Spannungen, welche bei ihrer Auslösung Kontraktionen mit daraus resultierender molekularer Umlagerung und Zwillingsstruktur zur Folge hatten. Einige wenige Ausnahmen sind zulässig."

„Ebenfalls späteren Ursprungs sind die in den Kalifeldspat eingelagerten perthitischen Albitlamellen. Sie können ihr Material einerseits aus der natronhaltigen Grundmasse bezogen haben, in der sie als Schnüre wiederzufinden sind, indem längs Kontraktionssprüngen zirkulierende Wasser oder mineralische Lösungen den Natrongehalt aus den angrenzenden Gebieten auslaugten und an Ort und Stelle zur Ausscheidung brachten; dann muss aber eine entsprechende Verwitterungszone diesen Vorgang bezeichnen."

„Andererseits, und dies ist bei den Perthiten jedenfalls die hauptsächlich verbreitete Entstehungsart, haben sich Albitsolutionen auf den Kontraktionssprüngen Eingang verschafft, nachdem vielleicht vorher ätzende Lösungen die Spalten erweiterten."

---

1) l. cit. 69.

„Die vorgenannten Ansichten verraten bereits den innigen Zusammenhang der Mikroklinstruktur mit dem Perthit. Infolge von Kontraktionen entstanden im Orthoklas Sprünge und Spalten, die sich durch ihre gesetzmässige Anordnung zu erkennen geben. Bei dieser plötzlichen Auflösung von stattgehabten Spannungen kam auch in den diesen Rissen benachbarten Partien eine Zusammenziehung der Mineralteilchen zustande, welche dasselbe Resultat hatte, wie es schon vorher angeführt wurde, nur dass dort eventuell infolge eines langsamen Nachlassens der Spannungen und langsamen Abkühlens des erhitzten Gesteins eine Zerreissung vermieden wurde. Die Einlagerung der die Perthite bedingenden Albitlamellen ging dann in der Weise vor sich, wie ich sie oben geschildert habe."

Der Verfasser ist gewiss davon überzeugt, dass die gleiche Erscheinung oft auf sehr verschiedenem Wege zustandekommen kann. Er hat aber das eben Zitierte absichtlich ausführlich wiedergegeben, um Begriffe wie Kontraktionsrisse und zirkulierende Albitsolutionen unmittelbar wirken zu lassen. Jeder der die hier besprochenen Dinge petrographisch studiert hat, weiss, wie schwer es ist, sich davon eine lebendige Vorstellung zu machen. Man wird deshalb unzweifelhaft einer Theorie den Vorzug geben, die solche Schwierigkeiten vermeidet.

Die Annahme von R. Brauns für den Mikroklin stützt sich, wie schon in der früheren Mitteilung an dieser Stelle bemerkt wurde, als auslösende Ursache auf die Änderung von Druck und Temperatur, also auf von aussen wirkende Faktoren. Der letzte Grund liegt hier jedoch in der Substanz selbst, und wir brauchen nur diesen Zustand als einen von Anfang an labilen aufzufassen (mit sehr geringer Umwandlungsgeschwindigkeit), so verschwinden auch die Einwände, die dagegen z. B. wegen der durch Druck sicher wenig beeinflussten Drusenfeldspäte gemacht werden können. W. Wahl geht auf die Brauns'sche Theorie nicht ein. Im

Original[1]) ist sie vielleicht nicht überall zugänglich, aber durch die ausführliche Besprechung von C. Hintze[2]) ist sie allgemein bekannt. Allerdings hat aber R. Brauns selbst seine Meinung wenig später verlassen und den Orthoklas und Mikroklin wieder als Beispiel zweier dimorpher Modifikationen angegeben.[3]) Das stimmt also ganz mit der Ansicht W. Wahls überein. Auch dieser betrachtet die Kalinatronfeldspäte hauptsächlich unter dem Gesichtspunkte der Umwandlungen dimorpher Körper. Er spricht zwar, wie oben angegeben bei den Perthiten z. T. von dem „Zerfall" der Orthoklase, ohne aber auf die Natur dieses Vorgangs näher einzugehen, obschon er die Arbeit von J. H. L. Vogt zitiert, die den Vorgang der Perthitbildung vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus behandelt.[4]) Dieser kommt zu dem Resultat:

(l. cit. 539) „Aus den schon von vielen früheren Forschern hervorgehobenen Gründen zieht sich der Schluss, dass das chemische Material zu den perthitischen Albitlamellen (oder im allgemeinen *Ab*-reichen Plagioklaslamellen) der Orthoklas- und Mikroklinmikroperthite aus dem ursprünglichen Feldspat herstammt."

„Aus der sekundären Aussonderung der Perthitlamellen, mit chemischem Material aus dem primären *Ab* + *An*-haltigen Kalifeldspat herstammend, folgt, dass diese Aussonderung in der **festen** Phase stattgefunden hat."

(541) „Wichtige Gründe lassen sich andrerseits für die von Michel-Lévy 1879 aufgestellte und von vielen späteren Forschern angenommene Auffassung anführen, nämlich dass Orthoklas und Mikroklin physikalisch identisch sind, indem der Orthoklas aus einer submikroskopisch feinen Über-

1) Die optischen Anomalien der Krystalle, Leipzig 1891. 132—149.
2) Handbuch der Mineralogie II. 1334.
3) Chemische Mineralogie. Leipzig 1896. 174.
4) Physikalisch-chemische Gesetze der Krystallisatiosfolge in Eruptivgesteinen. Tschermaks min. u. petr. Mitt. 24. Bd. 1905. 437.

einanderlagerung asymmetrischer Lamellen nach dem Albit- und Periklingesetz gebaut ist."

„Unter dieser Voraussetzung ist die Aussonderung der perthitischen Lamellen einfach als eine Entmischung zu erklären."

Die Anschauung dieses Forschers vom Mikroklin deckt sich also mit der von P. Groth. Aber auch die vom Verf. und früher von R. Brauns vertretene Ansicht steht mit der sonstigen Theorie Vogts nicht im Widerspruch. Im Gegenteil, sie erhält durch diesen Vorgang der Entmischung eine Stütze, denn wir können nun annehmen, dass die isomorphe Beimischung von Albitsubstanz in jedem Falle eine Labilität des primären Orthoklases zur Folge hat, die bei geringer Menge der beigemischten Komponente nur eine Umlagerung in die niedriger symmetrische Form bewirkt, bei grösseren Mengen dagegen zu einer Entmischung führen muss.

Bezüglich des Mikroklin ist aber hier noch eine Tatsache hervorzuheben, die zu Gunsten der Michel-Lévyschen Theorie gegen die hier vertretene Ansicht zu sprechen scheint, und auf die sich auch W. Wahl stützt. H. Förstner[1]) hat an Kalinatronfeldspäten von Pantelleria nachgewiesen, dass gewisse Feldspäte bei höherer Temperatur eine Umlagerung der Lamellen in die monokline Form erfahren und umgekehrt beim Sinken der Temperatur wieder triklin (mit Zwillingsstruktur) werden, sich also ganz ähnlich wie zwei enantiotrop dimorphe Modifikationen verhalten. Nun können wir das Zustandekommen der Entmischung nur dadurch begreifen (wie auch J. H. L. Vogt ausführt), dass der Kalifeldspat bei der höheren Temperatur, bei der er sich bildet, mehr Albitsubstanz aufzunehmen vermag, die sich dann bei niederer Temperatur ausscheiden muss.

---

1) Zeitschrift f. Krystallographie I. 1877. 547; VIII. 1884. 125; XIX. 1891. 560.

Eine Wiederauflösung durch Temperatursteigerung nach der Entmischung ist dann naturgemäss ohne Wiedereinschmelzung nicht möglich, wohl aber kann der rein physikalische Vorgang der Umlagerung sich ebensowohl vorwärts wie rückwärts vollziehen. Der ganze Unterschied der Anschauungen ist nur der, dass — wie schon oben pag. 3 hervorgehoben wurde — dem Verf. eben eine totale Umlagerung begreiflicher erscheint, als ein blosses Dicker- oder Dünnerwerden der Zwillingslamellen.

J. H. L. Vogt hat aus den vorhandenen Analysen die Aufnahmefähigkeit des Kalifeldspats für das Albit- und Anorthitsilikat berechnet und gefunden, dass die beobachteten Plagioklasmengen im Perthit damit im Einklang stehen.

In einer früheren Mitteilung[1]) hat der Verf. auf den Unterschied aufmerksam gemacht, der zwischen einer isomorphen Mischung der gleichartig zusammengesetzten Alkalifeldspäte und einer solchen von Alkalifeldspat mit dem kieselsäureärmeren Kalkfeldspatsilikat besteht. Bei den ersteren Mischungen können wir sagen, dass eine direkte isomorphe Vertretung des *K* durch das *Na* stattfindet, während im zweiten Falle die Vertretung des *Na* oder *K* durch das höherwertige *Ca* nur bei gleichzeitigem Ersatz von *Si* durch das niedrigerwertige *Al* stattfinden kann; der Verf. bezeichnete diese Mischungen als solche der höheren Ordnung.

Mit der steigenden Menge von Plagioklassubstanz im Alkalifeldspat muss die Ziffer für den Prozentgehalt an $SiO_2$ sinken und für $Al_2O_3$ steigen, wie die nachstehende Tabelle an den auf die Summe 100 berechneten Gewichtsprozenten für die Plagioklasmischungen von Albit und Anorthit nach E. A. Wülfing[2]) und an den entsprechend berechneten Werten für Orthoklas und Anorthit erkennen lässt.

---

1) Diese Sitzungsberichte, Januar 1908.

2) Rosenbusch-Wülfing, Mikroskopische Physiographie, 4. Aufl. Bd. I, 2. Hälfte, 330.

| | $Ab_{100}An_0$ | $Ab_{95}An_5$ | $Ab_{90}An_{10}$ | $Ab_{85}An_{15}$ | $Ab_{80}An_{20}$ | $Ab_{75}An_{25}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 68,81 | 67,46 | 66,12 | 64,79 | 63,46 | 62,14 |
| $Al_2O_3$ | 19,40 | 20,31 | 21,22 | 22,12 | 23,01 | 23,90 |
| $CaO$ | — | 1,06 | 2,11 | 3,16 | 4,21 | 5,25 |
| $Na_2O$ | 11,79 | 11,17 | 10,55 | 9,93 | 9,32 | 8,71 |

| | $Or_{100}An_0$ | $Or_{95}An_{10}$ | $Or_{90}An_{10}$ | $Or_{85}An_{15}$ | $Or_{80}An_{20}$ | $Or_{75}An_{25}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 64,84 | 64,29 | 63,70 | 63,13 | 62,45 | 61,77 |
| $Al_2O_3$ | 18,29 | 18,76 | 19,25 | 19,78 | 20,32 | 20,90 |
| $CaO$ | — | 0,51 | 1,06 | 1,58 | 2,23 | 2,87 |
| $K_2O$ | 16,87 | 16,44 | 15,99 | 15,51 | 15,00 | 14,46 |

| | $Or_{100}Ab_0$ | $Or_{95}Ab_5$ | $Or_{90}Ab_{10}$ | $Or_{85}Ab_{15}$ | $Or_{80}Ab_{20}$ | $Or_{75}Ab_{25}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 64,84 | 65,03 | 65,22 | 65,41 | 65,60 | 65,79 |
| $Al_2O_3$ | 18,29 | 18,34 | 18,39 | 18,44 | 18,50 | 18,55 |
| $K_2O$ | 16,87 | 16,07 | 15,27 | 14,47 | 13,65 | 12,84 |
| $Na_2O$ | — | 0,56 | 1,12 | 1,68 | 2,25 | 2,82 |

Die ebenso berechneten Werte für die Beimischung von Albit zum Orthoklas ergeben ein Steigen der Zahlen für $SiO_2$ und $Al_2O_3$, aber die $SiO_2$-werte steigen hier viel langsamer als sie durch Anorthitbeimischung sinken, es wird also auch bei ungefähr gleichen Mengen von $Na_2O$ und $CaO$ die Ziffer der $SiO_2$ sinken müssen.

Vergleicht man hiermit die vorhandenen Analysen von kalk- und natronhaltigen Kalifeldspäten, so sieht man, dass ein Teil ganz gut damit übereinstimmt.

| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $K_2O$ | $CaO$ | $Na_2O$ | Summe | inklusive |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61,80 | 23,61 | 11,21 | 1,53 | — | 99,20 | 1,05 $MgO$ |
| 2 | 63,45 | 19,73 | 13,17 | 1,70 | — | 98,58 | 0,53 $MgO$ |
| 3 | 64,03 | 19,17 | 11,84 | 1,38 | 1,37 | 99,82 | 0,30 $Fe_2O_3$, 0,22 $MnO$, 0,94 $MgO$, 0,57 $H_2O$ |
| 4 | 63,54 | 17,36 | 12,93 | 1,34 | 1,70 | 100,24 | 1,87 $Fe_2O_3$, 0,38 $MnO$, 0,94 $MgO$, 1,12 $H_2O$ |
| 5 | 64,48 | 20,00 | 12,81 | 1,01 | 1,72 | 100,66 | 0,64 $H_2O$ |
| 6 | 60,73 | 20,86 | 13,18 | 1,16 | 1,02 | 99,59 | 1,50 $MgO$, 1,14 Glühverlust |

| | Quelle | Fundort | analysiert von |
|---|---|---|---|
| | 1—5 nach C. Hintze, Handbuch der Mineralogie, Analysentabelle bei Kalifeldspat Nr. | | |
| 1 | CXXV | Kunětitz b. Pardubitz | Jahn 1862 |
| 2 | CLIII | Elba | Stagi 1873 |
| 3 | CCI | Clattering Briggs in Aberdeenshire | Heddle 1877 |
| 4 | CCXIII | Canisp, Sutherl. | Heddle 1877 |
| 5 | CCXVIII | Peterculter, Aberdeen | Haughton 1870 |
| 6 | G. Linck, Neues Jahrbuch f. Min. 1907. I. 25 | Campolongo | Marc 1906 (?) |

Eine Anzahl anderer Analysen stimmen aber mit der Annahme von $Or + Ab + An$ nicht überein.

| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $K_2O$ | $CaO$ | $Na_2O$ | Summe | inklusive |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 66,75 | 17,50 | 12,00 | 1,25 | — | 98,28 | 0,75 $Fe_2O_3$ |
| 2 | 65,62 | 17,16 | 12,67 | 2,44 | 0,44 | 100,00 | 1,67 $Fe_2O_3$, Spur $MgO$ |
| 3 | 65,24 | 18,15 | 14,96 | 1,28 | Spur | 99,63 | — |
| 4 | 65,76 | 18,31 | 14,06 | 1,20 | „ | 99,32 | — |
| 5 | 66,22 | 19,13 | 12,33 | 1,10 | 1,01 | 100,09 | 0,21 $MgO$, 0,09 $H_2O$ |
| 6 | 66,43 | 17,03 | 13,96 | 1,03 | 0,91 | 99,85 | 0,49 $Fe_2O_3$ |
| 7 | 65,69 | 17,97 | 13,99 | 1,34 | 1,01 | 100,00 | — |
| 8 | 65,55 | 17,99 | 13,74 | 1,50 | 1,54 | 100,32 | — |
| 9 | 69,30 | 14,28 | 9,79 | 2,03 | 2,11 | 99,74 | 0,42 $Fe_2O_3$, 0,28 $FeO$, 0,14 $MgO$, 0,60 $P_2O_5$, 0,46 $H_2O$ |

| | Quelle | Fundort | analysiert von |
|---|---|---|---|
| | 1—8 nach C. Hintze, Handbuch der Mineralogie, Analysentabelle bei Kalifeldspat Nr. | | |
| 1 | I | Lomnitz | Val. Rose 1802 |
| 2 | LVIII | Lutterbach i. Siebengeb. | Lasch 1852 |
| 3 | CXLVI | St. Gotthard | R. Müller 1877 |
| 4 | CCXXIII | Arendal | Jewreinow 1839 |
| 5 | XXI | Grube Himmelfahrt bei Freiberg i. S. | Richter 1862 |
| 6 | XXXII | Marienberg i. S. | Kröner 1846 |
| 7 | CXLIV | St. Gotthard | Abich 1840 |
| 8 | CCXXIV | Arendal | Schulz 1860 |
| 9 | Chelius, Neues Jahrbuch für Min. 1896. II. 71 | Oberwald bei Steinau i. Odenwald | Grossherzogl. Hess. Prüfungsstation in Darmstadt 1894 |

Die Analysen sind zum Teil schon recht alt, aber sie stimmen doch miteinander zu gut überein, als dass man an Analysenfehler denken sollte. Ausserdem weisen die Fund-

orte wie Arendal und St. Gotthard darauf hin, dass sie an recht gutem und reinem Material angestellt sein werden. Wir haben uns also nach einer anderen Erklärung umzusehen und könnten eine solche finden, wenn es zulässig wäre, anstelle der isomorphen Mischung von höherer Ordnung $Or + An$ eine Mischung der ersten Ordnung von Kalifeldspat + einem Feldspat $Fx$ anzunehmen, in der 2 Atome $K$ durch das zweiwertige Atom $Ca$ vertreten würden, also ein $Fx$ von der Zusammensetzung $CaAl_2Si_6O_{16}$. Die Mischungen $Or + Fx$ hätten in analoger Weise wie oben für $Or + Ab$ berechnet folgende Zusammensetzung:

| | $Or_{100}Fx_0$ | $Or_{95}Fx_5$ | $Or_{90}Fx_{10}$ | $Or_{85}Fx_{15}$ | $Or_{80}Fx_{20}$ | $Or_{75}Fx_{25}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 64,84 | 65,07 | 65,29 | 65,55 | 65,74 | 65,97 |
| $Al_2O_3$ | 18,29 | 18,35 | 18,41 | 18,48 | 18,54 | 18,60 |
| $K_2O$ | 16,87 | 16,08 | 15,29 | 14,50 | 13,68 | 12,88 |
| $CaO$ | — | 0,50 | 1,01 | 1,47 | 2,04 | 2,55 |

Man sieht, diese Mischungen verhalten sich ähnlich wie die Mischungen $Or + Ab$ und stimmen mit der zweiten Gruppe der Analysen recht gut überein.

Ein solcher Feldspat $Fx$ ist nicht bekannt, wohl aber kennen wir ein wasserhaltiges Silikat, den Desmin, dem wir die Formel $(Ca, Na_2)Al_2Si_6O_{16} + 6\,H_2O$ zuschreiben und der auch bis gegen 2 % $K$ enthalten kann. Wir hätten also hier in umgekehrtem Verhältnis eine isomorphe Vertretung des überwiegenden $CaAl_2Si_6O_{16}$ durch untergeordnete Mengen von $K_2Al_2Si_6O_{16}$, aber jedenfalls die Tatsache der Existenz des Silikates $Fx$ mit Kristallwasser und seiner Mischbarkeit mit $Or$. Die Annahme der Komponente $Fx$ in den kalkhaltigen Orthoklasen der zuletzt gegebenen Analysen wäre also nicht völlig unbegründet, zumal wir wissen, dass auch noch weiterhin ganz offensichtliche Analogien zwischen den Silikaten

der Feldspatgruppe nebst den sogen. feldspatähnlichen Mineralien und einigen Zeolithen bestehen.

Das Silikat *Fx* würde sich vom Anorthit durch den höheren Kieselsäuregehalt unterscheiden.

$Fx = CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 = 10{,}77\,\%\ CaO \cdot 19{,}63\,\%\ Al_2O_3 \cdot 69{,}60\,\%\ SiO_2$
$An = CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 = 20{,}10\,\%\ CaO \cdot 36{,}62\,\%\ Al_2O_3 \cdot 43{,}28\,\%\ SiO_2$

Bei der Umwandlung in Anorthit müsste also ein Teil der Kieselsäure frei werden und dasselbe müsste eintreten bei der Entmischung eines solchen kalkhaltigen Kalifeldspates, da wir das Silikat *Fx* als für sich bestandfähig nicht kennen; wir werden dann erwarten, dass sich bei der Entmischung neben dem Plagioklas die überschüssige Kieselsäure als Quarz ausscheidet.

Verwachsungen von Quarz mit Kalifeldspat und Plagioklas haben wir in den schriftgranitischen oder mikropegmatitischen Bildungen. Wir wissen aber, dass es sich hier nicht um eine Ausscheidung des einen aus dem andern, sondern um eine Struktur handelt, die durch das gleichzeitige Auskristallisieren des eutektischen Gemisches bedingt ist. Solche Verwachsungen kommen auch zwischen chemisch ganz verschiedenen Mineralien zustande, wie z. B. zwischen Feldspat und Augit.[1]) Mit den mikropegmatitischen Quarz-Feldspatverwachsungen sind aber lange Zeit andere Bildungen zusammengestellt worden, die erst neuerdings wieder insbesondere durch F. Becke in den Vordergrund des Interesses gerückt sind. Es ist das der Myrmekit. Die Struktur dieser Gebilde veranschaulicht Fig. 3. Der Unterschied von der typischen Mikropegmatitstruktur wurde schon ziemlich früh erkannt, der Name wurde von Sederholm gegeben. Auf die geschichtliche Entwicklung soll hier nicht eingegangen werden, es sei auf die

1) Ausgezeichnete Verwachsungen dieser Art beobachtete d. Verf. im Dolerit von Ofleiden. Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. XVIII. 1904. Taf. XLIII, Fig. 23.

Arbeiten von W. Petrascheck[1]) und F. Becke[2]) verwiesen. Unsere derzeitige Kenntnis sei mit den Worten des letztgenannten Forschers wiedergegeben:

„1. Der Myrmekit besteht aus halbrunden oder kegelförmigen oder krustenartigen Partien von Plagioklas mit wechselndem, aber meist niedrigem Anorthitgehalt, welche von gekrümmten, bisweilen verästelten Quarzstengeln durchwachsen sind. Die Quarzstengel sind in der Regel partienweise Teile desselben Individuums.

2. Myrmekit findet sich ausschliesslich im Zusammenhang mit Kalifeldspat (Mikroklin), und zwar am häufigsten in die Rinde der Mikroklinkörner eingesenkt, dort wo diese an Plagioklas grenzen, nicht aber an der Grenze gegen den Quarz. Bisweilen umsäumt er auch im Mikroklin eingeschlossene Plagioklase und siedelt sich auch auf Klüften und Sprüngen des Kalifeldspates an.

3. Es besteht kein konstantes Verhältnis zwischen der Grösse des Kalifeldspates und der an seinem Rande auftretenden Myrmekitzone. Der Myrmekit kann den Kalifeldspat auch völlig verdrängen.

4. Der Plagioklas der Myrmekitkörner hat keine gesetzmässige Orientierung zum Kalifeldspat, in den er eingesenkt ist, aber er erweist sich häufig als orientierte Fortwachsung benachbarter Plagioklase. Die Myrmekitpartien setzen sich selten an die *P*-Flächen des Plagioklases, häufig dagegen an die Vertikalkanten, an die *y*-, *x*- und *o*-Flächen. Nur wenn Myrmekit als Fortwachsung an orientierten Plagioklaseinschlüssen des Mikroklins auftritt, ist er natürlich so wie diese parallel zum Wirt orientiert.

---

1) Über Gesteine der Brixener Masse und ihrer Randbildungen. Jahrb. d. K. K. geol. Reichsanstalt LIV. Bd. 1904, Wien 1905, Seite 70, Über den Myrmekit.

2) Über Myrmekit. Tschermaks Min. u. petr. Mitt. Bd. XXVII Heft 4.

5. Der Myrmekitfeldspat grenzt sich gegen den Kalifeldspat stets durch konvexe Flächen ab und die Quarzstengel sind divergent strahlig und ungefähr normal zu dieser Oberfläche gestellt; die gabelig verästelten Quarzstengel richten den offenen Winkel der Gabel immer dieser Oberfläche zu. Hierdurch entsteht der Eindruck, als würde der Myrmekit stets einwärts in den Kalifeldspat hineinwachsen. In frischen Gesteinen erscheint die Grenze zwischen Kalifeldspat und Myrmekit stets vollkommen scharf, bisweilen etwas gekerbt oder gezähnelt.

6. Die Zusammensetzung des Plagioklasgrundes im Myrmekit schwankt, wie es scheint, mit der Beschaffenheit des Gesteins, in dem er auftritt. . . . Je basischer das Gestein im ganzen, je anorthitreichere Plagioklase es enthält, desto anorthitreicher ist auch der Plagioklasgrund des Myrmekit.

7. Die Quarzmenge des Myrmekit unterliegt Schwankungen, die mit dem Anorthitgehalt des Plagioklasgrundes in Beziehung stehen.

. . . dass Petrascheck den äussersten aus Albit bestehenden Saum von Myrmekitkörnern quarzfrei fand. Diese Beobachtung konnte seither öfter wiederholt werden."

Das beschriebene gegenseitige Verhalten zwischen Kalifeldspat, Myrmekit, Plagioklas und Quarz veranschaulicht Figur 4 (nach Petrascheck).

F. Becke hat eine Methode gefunden, um (neben der Bestimmung des Myrmekitplagioklases) die Menge des im Myrmekit ausgeschiedenen Quarzes zu messen, und hat dadurch (gemäss Nr. 7) gefunden, dass die beobachtete Quarzmenge zu der Anorthitmenge des Plagioklasgrundes in dem Verhältnis steht, das sich ergibt, wenn sich der Kalifeldspat durch Ersatz von $2K$ durch $Ca$ in Anorthit umwandelt nach der Gleichung

$$2\,KAlSi_2O_8 + Ca = CaAl_2Si_2O_8 + 4\,SiO_2 + 2\,K.$$

Das ist aber genau die gleiche Quarzmenge, die entsteht, wenn das Silikat *Fx* sich in Anorthit umwandelt,

$$Ca_2Al_2Si_6O_{16} = CaAl_2Si_2O_8 + 4SiO_2.$$

F. Becke nimmt eine Zuwanderung des *Ca* von aussen an die das *K* verdrängt. In dem frei werdenden *K* kann man dann die Ursache der vielfach zu beobachtenden sekundären Glimmerbildung erblicken. Der Ersatz des *K* durch *Ca* lässt sich unter dieser Annahme wohl nicht anders vorstellen, als ein Austausch unter dem Einfluss des Gesetzes der Massenwirkung. Wir werden aber dann nicht recht einsehen können, warum die Myrmekitgrundmasse gerade mit Vorliebe, wie auch Petrascheck betont, ein saurer Plagioklas ist. Vom Standpunkt der Entmischung ist das sehr begreiflich, denn wir sehen aus den zahlreichen Kalifeldspatanalysen, dass darin in der Regel mehr *Na* als *Ca* vorhanden ist. Das Schwanken des Anorthitgehalts des Myrmekit mit dem Anorthitreichtum der Gesteinsplagioklase spricht auch nicht gegen die Möglichkeit einer Entmischung, denn wir können uns sehr wohl vorstellen, dass in *Ca*-reicheren Gesteinen mehr *Ca* in den Kalifeldspat hineingehen wird als in *Ca*-ärmeren.

Dass sich der Myrmekit auch im Inneren des Mikroklin bildet, also nach Art der Perthite ist in 2 am Schluss ausgesprochen. Das Charakteristische ist aber wohl das randliche Auftreten mit gleichzeitiger Orientierung am Plagioklas; wir werden uns dies als eine isomorphe Fortwachsung vorstellen müssen und dabei wird es ebenso leicht möglich sein, an eine wirkliche Lösung, wie wir sie wohl bei der Zuwanderung des *Ca* von aussen annehmen müssen, zu denken, wie an die Ausscheidung aus einer festen Lösung bei Annahme einer Entmischung. Man könnte sogar in diesem Falle vielleicht die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass der unmittelbar an den Kalifeldspat grenzende Plagioklas auf die feste Lösung einen ähnlichen direkten Einfluss,

ausübt, wie ein Kristall auf seine übersättigte Lösung. Petrascheck sagt (l. cit. 73): „Eine chemische, von Abscheidung von $SiO_2$ begleitete Wechselwirkung zwischen Orthoklas und den kalkreichen Plagioklasen ist nicht denkbar, obgleich[1]) das mikroskopische Bild sehr zur Annahme einer solchen verleitet.“ Gerade W. Petrascheck erörtert auch die Möglichkeit einer Ausscheidung des Myrmekit aus dem Kalifeldspat. „Könnte dem Orthoklas die Fähigkeit, neben Plagioklassubstanz auch noch Quarz zu lösen, zugesprochen werden, so könnte durch Ausfall der letzteren die Bildung der Quarzstengel erklärt werden.“

In keinem Falle wird man sich aber den Vorgang so vorstellen können, dass der *Ca*-Gehalt des ganzen Kalifeldspats nach dem Rande hin wandert, sondern nur das *Na* und *Ca* aus dem direkt zerfallenden Bereich werden sich im Plagioklas des Myrmekit vereinigen. So erklärt sich auch das in Abschnitt 3 Gesagte: Die Entmischung kann sowohl randlich als auch durch das ganze Korn hindurch erfolgen. Hier erhebt sich aber die Frage für solche Fälle, wo „der Myrmekit den Kalifeldspat völlig verdrängt“. Das wäre etwa der Fall, den Fig. 3 aufweisen würde (vergl. die Tafelerklärung). Es ergibt sich in der Tat eine Schwierigkeit, wenn wir nur eine begrenzte Menge der Silikate *Ab* und *Fx* im vorwiegenden *Or* annehmen. Es ist das wohl der einzige ernstliche Widerspruch, den die Hypothese einer Entmischung aus den Tatsachen heraus erfahren kann, und deshalb muss dies hier besonders hervorgehoben werden.

Dann dürfen wir aber auch betonen, dass es, wenn wir eine isomorphe Mischung erster Ordnung $Or + Fx$ annehmen, vom theoretischen Standpunkte aus durchaus berechtigt ist, auch an die gleiche Möglichkeit solcher Mischungen $Ab + Fx$ zu denken; durch ihren Zerfall würde sich solcher totaler

1) Von mir gesperrt.

Myrmekit bilden. Der saure Charakter des Myrmekitplagioklases findet seine Erklärung, wenn wir das Silikat *Fx* in *Ab* als nur begrenzt löslich annehmen. Wären die beiden Silikate unbegrenzt mischbar, dann würden ihre Mischungen auch stabil sein, das sind aber nur die Mischungen der höheren Ordnung in den Plagioklasen.

Es beruht also die Möglichkeit, die Myrmekitbildung unabhängig von einer Zuwanderung von neuer Substanz problematischer Herkunft von aussen als rein physikalisch-chemischen Vorgang allein mit den gegebenen Grössen zu erklären, auf der hypothetischen Existenz der Komponente *Fx*. Wie weit man dieser aufgrund der mitgeteilten Analysen eine Wahrscheinlichkeit zusprechen will, wird wohl so lange Ansichtssache bleiben müssen, bis neuere Analysen von solchen *Ca*-haltigen Kalifeldspäten ausreichendes Material zur Entscheidung dieser Frage geliefert haben.

## Erklärung zur Tafel.

Fig. 1. Mikroklin (im polarisierten Licht bei + Nicols).

Fig. 2. Mikroklinmikroperthit. Die hellen breiten Bänder sind Albit.

Fig. 1 und 2 nach Hans Hauswaldt, Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht. Neue Folge, Magdeburg 1904. Taf. 39 u. 41.

Fig. 3. Myrmekit (bei + Nicols). Nach Fritz Berwerth, Mikroskopische Strukturbilder der Massengesteine in farbigen Lithographien. Lieferung IV, Tafel 1, Myrmekitstruktur (Granit von Kangasala, Finnland).

Das Bild soll hier nur zur Veranschaulichung der Struktur dienen, es würde den Fall einer totalen Myrmekitbildung repräsentieren. (Es sei bemerkt, dass eine Zwillingsbildung des Plagioklasgrundes nicht zu erkennen ist.)

Den Vorgang der partiellen Myrmekitbildung verauschaulicht

Fig. 4. Myrmekitzone im Kalifeldspat I gegen den Plagioklas II; sie ist nicht vorhanden an der Grenze von I und dem Quarz III.

Nach W. Petrascheck (l. cit.), Taf. IV, Fig. 1. Aufgenommen von F. Becke.

Aufgelegte Schriften:

Atti reale accademia dei Lincei Bd. XVII. Fasc. 2—9. Roma 1908.
Desgl. Rediconto. Bd. II. 1908.
Dieselbe Akkademie: Elenco bibliografico. 1908.
Rediconto acc. scienze fis. matem. Napoli Bd. XIV. Fasc. 4—7. 1908.
Atti società Toscana sc. natur. Bd. XVII. Nr. 5. 1908.
Travaux scientif. université de Rennes. Bd. VI partic 1 u. 2. 1907.
Annales d. Z. société géol. de Belgique. Bd. XXVIII. Bulletin. 1908.
Boletin del Cuerpo de Ingen. de minas del Perú. Nr. **50, 58—62.** 1907 u. 1908.
Bull. soc. imp. natural. Moscou. 1907. Nr. 1—3. 1908.
Bull. Acad. imp. St. Pétersb. 1908, Heft 12—16.
Travaux du Musée géol. Pierre le Grand. (Acad. St. Pétersb.) II. 1908.
Smithson. Miscellan. Collections. Deckblatt zu vol. **49.** vol. **51,** No. **1803, 1807.** vol. **53,** No. **1804, 1805.** vol. **52,** No. **1792.**
Smith. Contrib. to knowledge. vol. XXXIV. Nr. **1739.** Deckblatt! 1907.
Yearbook U. St. Depart. Agriculture. 1907. Washingt. 1908.
U. St. Geol. Survey. Bullet. No. **328, 329, 332, 335, 337, 338, 340, 342, 343, 344, 345, 346, 348, 350.** Washingt. 1908.
U. St. Geol. Surv. Water-Supply. Nr. **211, 212, 218.** Washingt. 1908.
„ „ „ „ Monographs. Bd. 49. Ceratopsia 1907.
„ „ „ „ Profess. Papers. Nr. **56** u. **62.** 1907 u. 08.
N. York State Educ. Depart. N. York Staate Museum. Mem. 9. 1900.
Transact. Ac. Science St. Louis. XVI, 8, 9. XVII, 1, 2. XVIII, 1. 1906—08.
Americ. Naturalist. v. XLII, Nr. 499—503. N. York 1908.
Bull. N. York Public Library. XII, Nr. 7—10. 1908.
Proceed. Amer. Acad. Arts & Sciences. v. XLIII, No. 17—22. Cambridge b. Boston (Mass.) 1908.
Proceed. Acad. Natur. Sc. Philadelphia. vol. 60, p. 1. 1908.
„ Philos. Soc. Philadelphia. vol. 47. N. 188. 1908.
Bull. Mus. Compar. Zoology. Harvard coll. v. 52, No. 4 u. 5. 1908.
Tokyo Zoological Society. vol. VI, p. 4. 1908.
Journal & Proceedings roy. Society of New South Wales. vol. 37—41. Sydney 1903—1907.
Mem. & Proceed. Manchester liter. & philos. Soc. vol. 52, p. 3. Manchest. 1907/8.

Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam: Verslagen afdeeling Natuurkunde. Deel XVI, 1, 2. 1907 u. 08.
" " " " Verhandelingen. 1. sect. Deel IX. No. 5—7. 1908.
" " " " Verhandelingen. 2. sect. Deel XIII, Nr. 4—6. 1907.
" " " " Verhandelingen. 2. sect. Deel XIV, Nr. 1. 1907.
" " " " Jaarboek. 1907. Amsterd. 1908.

Henriksen, Sundry geological problems, 2. ed. Christiania 1900.

Upsala Universitet: Linneporträtt. Stockh. 1907.
" " Linné, bref och skrifvelser. Stockh. 1907.
" " Årsskrift. 1907: Linné och Vätodlingen. Upsala 1907.
" " Inbjudning till Upsala Univers. Linnéfest 1907.
" " " till filosofie doktors promotionen. 1907.
" " " " teologie " " 1907.
" " " " juris " " 1907.
" " " " medicine " " 1907.

Bulletin geolog. instit. Upsala. vol. VIII, Nr. 15, 16. Upsala 1908.

Arkiv för Botanik (schwed. Akad.). Bd. 7, Heft 3—4. Upsala u. Stockh. 1900.
" " Zoologi. Bd. 4, Heft 3 u. 4. Ups. Stockh. 1908.
" " Matem., Astron., Fysik. Bd. 4, Heft 3 u. 4. " " 1908.
" " Kemi, Miner., Geol. Bd. 3, Heft 2. " " 1908.

Tromsö Museums Aarsberetning for 1906 u. 1907. Tromsö 1907 u. 08.
" " Aarshefter 25. 1902. " 1907—08.

Bergens Museums Aarbog 1908. Bergen 1908.

Stavanger Museums Aarshefte for 1907. Stavang. 1908.

Acta universit. Lundensis, nova ser. Medic., Matem. etc. III, 1907. Lund 1907—08.

Leopoldina. Heft 44, No. 7—11. Halle 1908.

Naturhistor. Ver. Rheinl. Westf. Verhandlung. 64. Jahrg. 1907. 2. Hälfte. Bonn 1908.

Naturhistor. Ver. Rheinl.-Westf. Sitz.-Ber. 1907. 2. Hälfte. Bonn 1908.

Schriften naturw. Ges. Schleswig-Holst. XIX, 1. Kiel 1908.

Schrften phys.-ökon. Ges. Königsberg i. Pr. 48. Jahrg. 1907.

Helios, Abt. u. Mitteil. naturw. Ver. Frankfurt a. Oder. 24. u. 25. Bd. Berlin 1908.

Schriften naturf. Ges. Danzig. Neue Folge, XII, 2. Heft. Danz. 1908.

30. Bericht westpreuss. botan.-zoolog. Ver. Danzig 1908.
25. Jahres-Bericht. Schlesische Gesellsch. vaterl. Kultur. Breslau 1908.
Jahresber. ärztl. Ver. Frankf. a. Main. 1905.
Festschrift z. 100jähr. Bestehen d. Wetteraner Ges. Naturk. Hanau 1908.
Geschichte d. Wetter. Ges. Naturk. Festgabe. Hanau 1908.
Zeitschr. Naturwiss. Halle a. S. 80. Bd. 1. u. 2. Heft. Halle 1908.
Jahrbüch. Nassau. Ver. Naturk. Jahrg. 61. Wiesbad. 1908.
92. Jahresber. naturf. Ges. Emden. 1906 - 07.
Isis, Sitzungsber. u. Abh. Jahrg. 1908. Jan.—Juni. Dresd. 1908.
Herzogl. techn. Hochschule Braunschweig. Progr. f. 1908/9. Braunschw. 1908.
Notizblatt V|er. Erdkunde. Darmstadt. 4. Folge. Heft 28. Darmst. 1907.
Jahresh. Ver. vaterländ. Naturk. Württemb. 64. Jahrg. 1908. Stuttg. 1908. Beilage dazu: Literaturverzeichnis u. Mitteil. d. geolog. Abt.
Mitteil. der Dollichia. 64. Jahrg. No. 23. 1907. Dürkheim 1908.
Ber. naturf. Ges. Freiburg i. Br. 17. Bd., Heft 1. 1908.
Naturw. Ver. Passau. 20. Bericht. Pass. 1908.
Ber. naturw. Ver. Regensburg. XI. Heft. 1905/6.
Verh. naturf. Ges. Basel. Bd. XIX, H. 3. Basel 1903.
Jahresber. naturf. Ges. Graubünden. N. Folge. 50 Bd. 1907/8. Chur 1908.
Actes Soc. Hélvét. Fribourg. 90. session. vol. I u. II. Fribourg 1907.
Ber. natur. mediz. Ver. Innsbruck. 31. Jahrg. 1907/8. Beilage dazu.
66. Jahr.-Ber. Mus. Francisco-Carolinum. Linz 1900.
Schriften z. Vereins-Verbr. naturw. Kenntn. Wien. 48. Bd. Wien 1907/8.
Chicago Acad. of Science. Spec. Publ. 2. Mai 1908.
Field Mus. of Natur. Hist. vol. III, No. 2. Annual Rep. for 1907. Chic. 1908.
Bull. Lloyd Library Cincinnati. 10. Reprod. Ser. 6. 1908.
Bull. Illinois State Laboratory Natur. Hist. v. 8, Art. 1. May 1908. Urbana Ill.

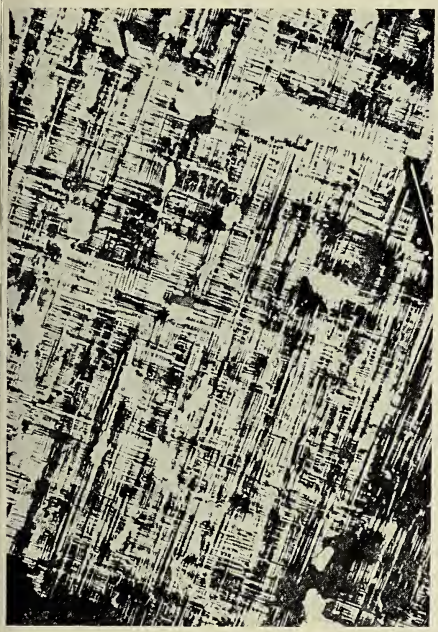


Fig. 1.

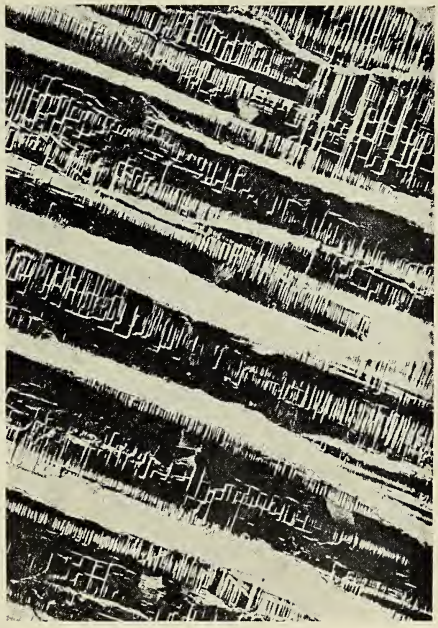


Fig. 2.

Fig. 3.

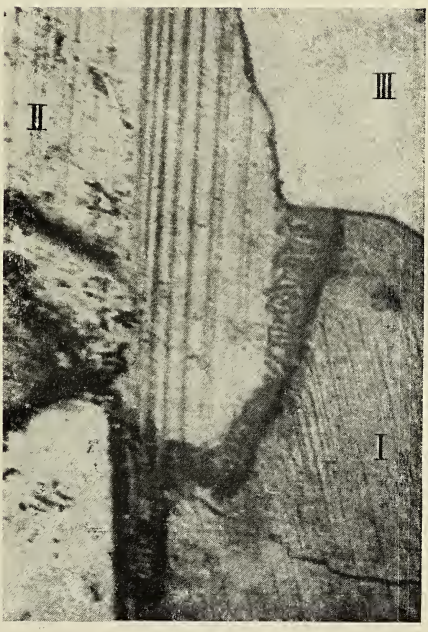



Fig. 4.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 2 Februar 1909


In der Sitzung vom 10. Februar hielt Herr Johannes Meisenheimer den angekündigten Vortrag:

### Ueber Regenerationsversuche an Schmetterlingen.

Im Zusammenhange mit meinen experimentellen Untersuchungen über den Einfluss der Geschlechtsdrüsen auf die sekundären Geschlechtscharaktere prüfte ich im vergangenen Sommer das Regenerationsvermögen der Schmetterlingsflügel und bin dabei zu Ergebnissen gekommen, die nach verschiedenen Richtungen hin von besonderem Interesse sind.

Zum Verständnis der vorgenommenen Operationen wird es nötig sein, zunächst kurz auf die Entwicklung der Schmetterlingsflügel einzugehen. Dieselben entstehen aus sog. Imaginalscheiben, die sich schon auf jungen Raupenstadien in Form tiefer Ektodermeinstülpungen zu beiden Seiten des 2. und 3. Thorakalsegmentes anlegen. Von den beiden Blättern dieser sackförmigen Einstülpungen liefert das innere in Verbindung mit Tracheenästen den eigentlichen Flügel, während das äussere Blatt nur eine vergängliche Flügelscheide darstellt. Um die 3. Raupenhäutung wird diese Anlage bei Lymantria dispar deutlich und gross ($^1/_3$ bis $^1/_2$ mm) genug, um die Exstirpation vornehmen zu können. Dieselbe

wurde mittels kleiner Einschnitte an den Seiten der beiden hinteren Thorakalsegmente ausgeführt, und zwar wurde stets die rechte Seite an Vorder- und Hinterflügel zugleich operiert.

In der Mehrzahl der Fälle — insgesamt gegen 150 — war Regeneration der Flügel eingetreten. Nur etwa ein Viertel zeigte keine Spur einer solchen und diese Falter boten trotzdem das eigentümliche Aussehen dar, dass auf der linken Seite wohl ausgebildete Flügel vorhanden waren, auf der rechten Seite dagegen an ihrer Stelle eine kahle Längsnarbe sich zeigte. Neben diesem Zustande traten dann alle Uebergänge auf von kurz stummelförmigen Regeneraten bis zu nahezu fertig ausgebildeten Flügeln. Die geringere Grösse der regenerierten Flügel beruhte aber nicht darauf, dass etwa ein Stück des Gesamtflügels fehlte, sondern die Regenerate stellten stets ganze Flügel dar, deren Teile sämtlich in genau dem gleichen Masse von der Verkleinerung betroffen werden. Es lässt sich dies besonders deutlich an der Bänderzeichnung der Vorderflügel nachweisen und zwar sowohl im männlichen wie im weiblichen Geschlecht. Geschlossen werden kann aus den gegebenen Verhältnissen mit Sicherheit, dass diese Neubildungen einem neu angelegten Entwicklungscentrum ihre Entstehung verdanken.

Die Ursache des so sehr verschiedenen Ausfalls der Regenerate ist nun eine recht eigenartige. Es treten nämlich die schwächer oder stärker ausgebildeten Regenerate keineswegs regellos durcheinander auf, sondern sie sind in der Reihenfolge ihres Erscheinens an eine ganz bestimmte Gesetzmässigkeit gebunden. Von einer Operationsreihe, welche aus 116 auf dem 4. Raupenstadium vom 12.—14. Juni operierten Raupen bestand, zeigten alle die Falter, welche vom 18. bis 28. Juli ausschlüpften, kein oder nur ein sehr unvollkommenes Regenerat, während die später die Puppenhülle verlassenden Individuen mehr oder weniger hoch entwickelte Neubildungen aufwiesen. Die Verzögerung der Entwicklung beruht nun bei den operierten Tieren einzig und allein auf einer längeren

Dauer der Raupenperiode, mithin ist es die letztere, welche von ausschlaggebender Bedeutung für die Regeneratgrösse ist. Je länger eine Raupe nach der Flügelexstirpation als Raupe lebt, ein um so grösseres Flügelregenerat vermag sie hervorzubringen. Diese Gesetzmässigkeit kommt in allen Operationsreihen zum Ausdruck.

Die Absicht, in welcher diese Versuche angestellt wurden, war folgende. Durch meine früheren Versuche hatte ich sicher nachgewiesen, dass die Geschlechtsdrüsen einen Einfluss auf die sekundären Geschlechtsmerkmale nicht auszuüben vermochten, nunmehr wollte ich ihren Einfluss auf einen regenerierenden Sexualcharakter prüfen. Alle Versuchsreihen über Flügelregeneration wurden deshalb an Raupen in drei verschiedenen Zuständen ausgeführt, an geschlechtlich normalen Raupen, an kastrierten und an solchen mit transplantierten Genitaldrüsen des entgegengesetzten Geschlechts. Aber auch an dem regenerierenden Sexualmerkmal war keine Spur einer Beeinflussung durch die Geschlechtsdrüsen nachweisbar, obwohl einer solchen nun nicht mehr der Widerstand fixierter ontogenetischer Vorgänge entgegenstand, sondern eine Neubildung die Stelle der letzteren eingenommen hatte.

Weiter hielt Herr R. Öttinger (als Gast) den Vortrag:

## Über abweichend geformte (atypische) Spermatozoen und ihre Bildungsweise bei Myriopoden.

Mit Demonstration.

Zur Erläuterung der aufgestellten Demonstration wurden die Entwicklungsvorgänge bei dem eigenartigen, sogen. „hutförmigen" Spermatozoon eines Tausendfüsslers, Pachyiulus varius Fabr. geschildert.

Es konnte die Zurückführung dieser aberranten Spermatozoen-Form auf die typische flagellatenförmige ermöglicht werden.

Bei der Umwandlung der Spermatide in das ausgebildete Spermatozoon zeigte der Kern in seiner chromatischen Substanz sehr interessante Verhältnisse; das Mittelstück bildete sich in einer sehr klaren, beinahe schematischen Weise; eine ganz hervorragend vielseitige Verwendung fanden die Mitochondrien; sie können als ein Skelett des Spermatozoons angesprochen werden. Von besonderer Wichtigkeit war die Konstatierung eines Spitzenstückes und die Auffindung und Feststellung einer Geissel, des Schwanzfadens. (Der Schwanzfaden konnte an lebenden ausgebildeten Spermatozoen demonstriert werden.)

Die nähere Beschreibung der Entwicklungsvorgänge der Pachyiulus Spermatozoen findet sich als vorläufige Mitteilung der ausführlichen Arbeit im Zoolog. Anz. Bd. XXXIII, Nr. $^5/_6$ und Nr. $^6/_7$. Es muss auf diese Mitteilung, sowie auf die baldig erscheinende definitive Arbeit verwiesen werden.

Hier sei nur noch bemerkt, dass die in der vorläufigen Mitteilung ausgesprochenen Angaben betreffs des Spitzenstückes in einem Punkt ergänzt werden müssen. Es wurde

dort die Vermutung ausgesprochen, dass das Spitzenstück nur in seiner Anlage vorhanden sei, aber nicht zur Ausbildung gelangt. Durch weiterhin gemachte diesbezügliche Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass das Spitzenstück doch zur Ausbildung gelangt und an dem ausgebildeten Spermatozoon ein kornähnliches Gebilde darstellt.

---

Weiter sprach Herr C. Tönniges über:

## Die Fortpflanzung von Pelomyxa palustris.

(Mit Demonstrationen).

Die Lebensgeschichte der vielkernigen Amoebe Pelomyxa palustris ist in neuerer Zeit, besonders durch die eingehenden Untersuchungen von Bott[1]), genauer bekannt geworden.

Sein Hauptaugenmerk richtetete Bott auf die geschlechtliche Fortpflanzung der Pelomyxa, und es gelang ihm, diesen komplizierten Prozess nahezu völlig aufzuklären.

Einige Lücken, die noch geblieben waren und die speziell die Ausbildung der aus der Cyste ausgeschlüpften, einkernigen Pelomyxa zu der erwachsenen, vielkernigen Form betrafen, glaube ich durch Beobachtungen, die im Laufe des vergangenen Jahres von mir angestellt wurden, ausfüllen zu können.

Was die ungeschlechtliche Fortpflanzung von Pelomyxa palustris anbetrifft, so konnte ich mehrmals eine direkte Zweiteilung des ganzen Körpers beobachten, so dass die beiden Hälften nahezu gleich gross waren. F. E. Schulze hat gleichfalls einen ähnlichen Fall beschrieben. Neben dieser typischen Zweiteilung dürfte jedoch auch eine Abschnürung

1) Bott, K., Über die Fortpflanzung von Pelomyxa palustris. Arch. f. Protistenkunde. VIII. Bd. 1906.

kleinerer Plasmapartieen vom Mutterkörper erfolgen, so dass wir eine gewisse Form von Knospung vor uns hätten.

Weit interessanter sind jedoch die geschlechtlichen Prozesse der Pelomyxenfortpflanzung, die Bott, wie ich schon hervorhob, in eingehender Weise beschrieben hat.

Bei der Ausführung meiner Beobachtungen und Zuchtversuchen war ich genötigt, die von Bott angestellten Untersuchungen zum grossen Teil nachzuprüfen und möchte gleich an dieser Stelle hervorheben, dass ich trotz einer gewissen vorgefassten Meinung die Resultate Botts völlig bestätigen kann. Es wurden dieselben Untersuchungsmethoden in Anwendung gebracht, die Bott in seiner speziellen Abhandlung eingehend beschrieben hat.

Die einleitenden Vorgänge zur geschlechtlichen Fortpflanzung lassen sich bereits am lebenden Tier feststellen, da sich alle Kerne daran beteiligen und auf diesen Stadien überhaupt keine typischen bläschenförmigen Kerne mit randständiger Chromatinlagerung vorhanden sind. Das Chromatin rückt von der Peripherie in das Innere des Kernes und die einzelnen Chromatinbrocken beginnen zu einem oder mehreren Klumpen zuverschmelzen. Das Kerngerüst ist verschwunden, und das Chromatin liegt in einer im Leben völlig homogen erscheinenden Grundsubstanz. Es lässt sich an diesen Kernen die von Bott gemachte, interessante Beobachtung bestätigen, dass einzelne dieser Chromatinbrocken aus den Kernen ausgestossen werden, so dass eine Reduktion der chromatischen Masse stattgefunden hat.

Aus dem innerhalb der Kernmembran zurückbleibenden Rest des Chromatins baut sich nach Bott eine typische Spindel auf.

Bott sagt an einer Stelle seiner Publikation:

„Betrachtet man die Chromatinreduktion und die Spindelbildung vom Standpunkt der neueren Chromidialtheorie nach Schaudinn, so ist der Vorgang hier offenbar der, dass das somatische Chromatin bei Pelomyxa ausgestossen wird,

während das generative Chromatin im Kern bleibt und die Spindel bildet."

Ich glaube, mich dieser Auffassung Botts völlig anschliessen zu können.

Über den Bau der Spindel und den Verlauf der Kernteilungen hoffe ich in einer späteren Publikation nähere Mitteilungen machen zu können. Ebenfalls gehe ich auf die Ausbildung der Gameten an dieser Stelle nicht näher ein. Was ich davon am lebenden Tier beobachten konnte, scheint mit den Resultaten von Bott völlig übereinzustimmen.

Die Gameten innerhalb des Muttertieres liegen in Cysten, die eine polygonale Felderung aufweisen. Diese von Bott als Keimkugeln bezeichneten Gebilde sind innerhalb der lebenden Mutter gut sichtbar. Auch das Auskriechen der jungen Gameten aus den Cysten und ihr längeres Verweilen im Plasma des Muttertieres lässt sich direkt am lebenden Material beobachten.

Diese mit Cysten gefüllten Muttertiere wurden unter Berücksichtigung aller Vorsichtsmassregeln in die feuchten Kammern gebracht und hier das Auskriechen der Gameten aus dem Körper der Pelomyxa festgestellt. In Übereinstimmung mit Bott wurden mitunter annähernd 100 junge Pelomyxen in einem einzigen Muttertier beobachtet.

Mit dem Ausschlüpfen der Gameten scheint nach Bott und meinen Beobachtungen die alte Pelomyxa zugrunde zu gehen. Jedenfalls trat dieses in den Kulturen ein, die sich in den feuchten Kammern befanden. Ob dieses Verhalten auch unter den günstigeren Bedingungen in der freien Natur eintritt, war nicht mit Sicherheit festzustellen. Jedoch schien es mir, als ob in diesem Falle ein Weiterleben des Muttertieres stattfände. Ich hoffe im Verlauf der weiteren Beobachtung, genauere Angaben über diesen Punkt machen zu können.

Wie schon erwähnt wurde, liess sich das Ausschlüpfen der Gameten mehrfach an lebenden Pelomyxen beobachten

und zwar in Dezember und Januar, also ungefähr zu gleicher Zeit wie Bott dies fand, obwohl ich seiner Ansicht zustimmen möchte, dass die geschlechtliche Fortpflanzung während des ganzen Jahres stattfinden kann, sobald die günstigen Bedingungen dafür gegeben sind.

Nach allem, was ich über die Bildung der Gameten, ihres Encystierungsvorganges und ihres schliesslichen Ausschlüpfens beobachten konnte, muss ich mich der bereits von Bott erörterten Ansicht anschliessen, dass man in diesen Vorgängen keineswegs Parasiten der Pelomyxa oder Cysten in sie hineingelangter Protozoen erblicken kann, sondern es sich um tatsächliche geschlechtliche Fortpflanzungsprozesse dieser Form handeln muss.

Sobald die Gameten, resp. die jungen Pelomyxen, die Mutter verlassen haben, musste es für den weiteren Verlauf der Beobachtung von Wichtigkeit sein, den Entwicklungsgang dieser Embryonen bis zu ihrer Ausbildung zur typischen vielkernigen Pelomyxa zu verfolgen.

Das bietet nun vielfache Schwierigkeiten.

Die auskriechenden jungen Pelomyxen haben nicht nur ihrem Äusseren nach bereits den typischen Charakter dieser Amoebe, sondern zeigen auch das grosse Nahrungsbedürfnis derselben. Sie beginnen sofort mit den kurzen, stumpfen Pseudopodien alles in ihrer Nähe Erreichbare, wie Diatomeen, Algen, Kieselstückchen etc., in sich aufzunehmen, so dass sie nur mit grosser Mühe ernährt werden können. In den Kulturen der feuchten Kammern pflegen sie daher nach kurzer Zeit zugrunde zu gehen. Der Mangel an geeigneter Nahrung scheint meiner Auffassung nach die Hauptursache dafür zu sein.

Ausserdem sind sie gegen die Einwirkung des Lichtes sehr empfindlich, so dass ihnen, um sie längere Zeit am Leben zu erhalten, unbedingt die Möglichkeit geboten werden muss, sich im Schlamm verstecken zu können.

Nach langen Bemühungen gelang es mir, ihnen diese Bedingungen einigermassen zu verschaffen, jedoch wurde die Beobachtung der Amoeben dadurch sehr erschwert. Nahm ich sie nur für einige Augenblicke mit der Pipette aus ihrer gewohnten Umgebung heraus, um sie, auf einen Objektträger gebracht, besser studieren zu können, so konnte ich sicher sein, dass sie nach kurzer Zeit abstarben und zerflossen.

Überaus empfindlich waren sie auch gegen den geringsten Wechsel der Lebensbedingungen in ihren kleinen Kulturgefängnissen. Sie kamen dann gegen ihre Gewohnheit aus dem Sehlamm heraus und kletterten an dem Glas empor, um den ungünstigen Bedingungen zu entgehen. Dieses Verhalten zeigen übrigens auch die alten Pelomyxen, sobald in den grossen Kulturgefässen das Wasser eine Beschaffenheit annimmt, die ihnen das Weiterleben im Schlamm nicht mehr gestattet.

Nach Überwindung dieser zahlreichen Schwierigkeiten war es mir endlich möglich, aus den einkernigen, bereits den typischen Bau und die Bewegung der alten Tiere zeigenden jungen Pelomyxen, ein zweikerniges Stadium zu züchten.

Es gelang mir auch einige Male, die Kernteilung selbst zu verfolgen, die auf ähnliche Weise vor sich geht, wie sie bereits von echten Amoeben beschrieben wurde. Sie erfolgt auf direktem Wege in der Weise, dass sich das Chromatin inmitten des Kernes in Form eines Zentralkörpers ansammelt. Dieser Körper bewirkt scheinbar, wie bei Amoeba crystalligera, die Teilung des Kernes (Nucleolocentrosoma). Er teilt sich zuerst und daran anschliessend der ganze Kern. Ähnliche Kernteilungsstadien habe ich auf späteren Stadien noch mehrfach gesehen.

Die kleine Pelomyxa kann längere Zeit auf dem zweikernigen Stadium stehen bleiben, bevor sie sich zur weiteren Kernteilung vorbereitet. Bemerkenswert ist die völlige Übereinstimmung in der Bewegung und Nahrungsaufnahme dieser jungen, zweikernigen Form mit der ausgewachsenen, vielkernigen

Pelomyxa. Auch haben die Amoeben bereits den typischen Pelomyxenkern.

Ich brauche wohl kaum hinzuzufügen, dass einer Verwechselung der jungen einkernigen Pelomyxen mit anderen Amoeben durch die Art der Kultur nach Möglichkeit vorgebeugt wurde. Es lässt sich eine ununterbrochene Übergangsreihe von der aus der Cyste ausschlüpfenden, einkernigen Form bis zur ausgewachsenen Pelomyxa verfolgen.

Entweder teilen sich nun die beiden Kerne nacheinander, so dass ein dreikerniges Stadium durchlaufen wird, oder aber die Teilung geht an beiden Kernen zu gleicher Zeit vor sich, so dass sogleich aus dem zweikernigen das vierkernige sich entwickelt.

Die weiteren Umbildungen zur mehr- und vielkernigen Pelomyxa sind ziemlich gleichförmiger Natur. Durch Zunahme an Körpergrösse und Kernzahl wird allmählich die ursprünglich einkernige Pelomyxa zu jener grossen, vielkernigen Form, die uns als die grösste aller Amoeben bekannt ist. Ich will auf diesen Prozess, von dem ich eine lückenlose Serie zur Demonstration aufgestellt habe, hier nicht näher eingehen, da er relativ einfach verläuft und ohne genaue Zeichnungen kaum wiedergegeben werden kann.

Bott beschreibt ein interessantes Verhalten der jungen Pelomyxen, nachdem sie die Mutter verlassen haben. Sie verlieren ihr amoeboides Aussehen, werden mehr kugelig und beginnen nach allen Seiten hin sehr dünne, radiale Pseudopodien auszustrecken, so dass die Tiere ein heliozoenähnliches Aussehen bekommen.

Ich kann das Auftreten dieser Schwärmer nur bestätigen, bin aber vorläufig nicht in der Lage, genauere Angaben über ihre Bedeutung für die geschlechtliche Fortpflanzung machen zu können. Dagegen hat Bott den weiteren Entwicklungsgang dieser heliozoenähnlichen Gameten verfolgt und die wichtige Beobachtung gemacht, dass je zwei Gameten in Verbindung treten und miteinander eine dauernde Kopulation

eingehen. Sowohl Plasmaleiber wie Kerne verschmelzen völlig, so dass eine typische Zygote entsteht.

Leider war es mir bislang nicht möglich, diesen Kopulationsvorgang ebenfalls zu beobachten.

Die Zygoten bilden nach Bott bald die zarten heliozoenähnlichen Pseudopodien zurück, wachsen sehr schnell und zeigen bedeutend dickere und kürzere Fortsätze. Die weitere Kernteilung und Entwicklung ist dieselbe, wie ich sie bereits erwähnt habe.

Sobald die Lebensbedingungen in den Kulturgefässen ungünstig werden, so bilden auch bereits diese kleinen Amoeben sog. Ruhe- und Dauercysten.

Zum Schluss möchte ich noch eine merkwürdige Art erwähnen, wie die älteren Pelomyxen oftmals ihre Dauercysten bilden. Sie nehmen in mehr als reichlicher Menge kleine Steinchen auf, so dass das Tier völlig vollgepfropft erscheint. In diesem Zustande vermag die Pelomyxa keine Pseudopodien auszustrecken und rundet sich zu einer Kugel ab. Jetzt werden von der Pelomyxa die Steinchen nach aussen abgeschieden und bilden auf diese Weise eine Cystenhülle, die eine gewisse Ähnlichkeit mit den Sandgehäusen gewisser Difflugien besitzt.

Ferner sprach Herr F. Richarz über die im Physikalischen Institut von Herrn Wilhelm Wenz ausgeführte Bestimmung der

## Schallgeschwindigkeit im Kaliumdampf

und die daraus folgende Einatomigkeit seiner Molekeln.

In der Sitzung vom 13. November 1907 habe ich über die vermutliche Einatomigkeit von Metalldämpfen vorgetragen. (Siehe diese Sitz.-Ber. 1907, pag. 193). Bei meiner Vermutung, die ich, wie damals erwähnt, bereits lange vorher gegen Professor F. A. Schulze, Dr. A. Wigand und Dr. Hermann Wolff ausgesprochen hatte, war ich von folgenden Ueberlegungen ausgegangen. In meinen Abhandlungen über das Gesetz von Dulong und Petit hatte ich theoretisch abgeleitet, dass das Zusammentreffen von kleinem Atomgewicht und kleinem Atomvolumen die Abweichungen vom Gesetz von Dulong und Petit begünstigen muss, was in der Tat bei Beryllium, Bor, Kohlenstoff in besonderem Masse zutrifft. Die Kleinheit des Atomvolumens muss das Zusammenballen der Atome zu Atomkomplexen begünstigen. Den bereits in meinen früheren Abhandlungen erwähnten Gründen für das Vorhandensein komplexer Molekeln (siehe Ztschr. f. anorgan. Chem. **58**, p. 356 und **59**, p. 146, 1908; insbesondere pag. 158/159) möchte ich noch hinzufügen den Hinweis auf das merkwürdige Verhalten der Kohlenstoffmodifikationen gegenüber einem Gemisch von Kaliumchlorat und Salpetersäure, welches Diamant nicht angreift, die anderen Modifikationen zu Graphitsäure, Mellithsäure und anderen noch nicht aufgeklärten Produkten oxydiert, deren Konstitution kaum anders als durch das Vorkommen komplexer Molekeln in Graphit und Holzkohle erklärbar ist.

Im Gegensatz hierzu befolgen von den Elementen mit Atomgewichten kleiner als 40 das Gesetz von Dulong und Petit nur Lithium, Natrium und Kalium, welchen die Maxima des Atomvolumens unter jenen Elementen zukommen. Ich wurde hierdurch zur Annahme geführt, dass diese Elemente keine Atomkomplexe in festem Zustande und vermutlich erst recht nicht im dampfförmigen bilden. Wie dies mit anderen darauf hinweisenden Tatsachen übereinstimmt, habe ich in der Sitzung vom 13. November 1907 auseinandergesetzt; ebenso, dass vielleicht allgemeiner für alle Metalldämpfe, sehr wahrscheinlich aber für die meisten, die Molekeln aus je einem Atom bestehen. Herr Wilhelm Wenz hat, von mir veranlasst, meine Vermutung unter Leitung von Herrn Kollegen F. A. Schulze zu prüfen unternommen.

### I. Historisches über Dampfdichten der Metalle.

Die Bestimmung der Dampf- (oder Gas-) dichte allein genommen kann über die Zahl der Atome in einer Molekel eine Entscheidung nicht liefern. Zwar liefert die Gas- oder Dampfdichte gemäss dem Gesetze von Avogadro eine Bestimmung des Molekulargewichtes. Ausserdem muss dann aber noch das Atomgewicht des betreffenden Elementes sicher ermittelt sein. Wenn wir die unter II. zu besprechenden Ueberlegungen und Methoden zunächst noch bei Seite lassen, ist das Atomgewicht hinreichend sicher bekannt aus chemischen Verbindungen für fast alle Elemente mit Ausnahme der Edelgase, da diese keine Verbindungen bilden. Für diese liefert daher auch die Bestimmung der Gasdichte allein genommen keine Entscheidung über die Zahl der Atome von je einer Molekel. Sonst aber liefert sie diese; jedoch nicht selbständig, sondern nur in Kombination mit dem Atomgewicht.

Die Bestimmung der Dampfdichte von Quecksilber durch Bineau i. J. 1859 ergab das bekannte Resultat, dass die

*Hg*-Dampf-Molekeln nur aus einem Atom bestehen. Weniger bekannt ist, dass schon vorher in demselben Jahre, H. Sainte Claire-Deville und Troost durch Bestimmung der Dampfdichte von Cadmium dessen Molekeln als einatomig nachgewiesen hatten. Es folgten (1879) die Bestimmungen der Dampfdichten von Kalium und Natrium durch Dewar und Scott, mit demselben Resultate, dessen Zuverlässigkeit später allerdings stark angezweifelt wurde; dann ebenso diejenigen für Zinkdampf von J. Mensching und Viktor Meyer (1886). Mir waren von diesen älteren Bestimmungen bei meinem Vortrage vom November 1907 nur diejenigen für *Hg*, *Cd* und *Zn* bekannt, von denen ich auch die *Cd*-Bestimmung, wie meist geschieht, Viktor Meyer zuschrieb. Seit meinem damaligen Vortrage sind noch die Dampfdichtebestimmungen für Silber, Blei und Thallium durch H. von Warttenberg neu hinzugekommen. Alle diese Metalldampfdichten in Kombination mit den Atomgewichten ergeben einatomige Molekeln.

Aber für verschiedene andere Dämpfe von Metallen mit halbmetallischem Charakter hat die Bestimmung der Dampfdichten einatomige Molekeln entweder nur bei höheren Temperaturen ergeben, oder überhaupt nicht, vielmehr mindestens je zwei Atome in einer Molekel.

Im folgenden sind die bisher bestimmten Dampfdichten der Metalle nach dem Literaturstudium von Herrn Wilhelm Wenz zusammengestellt:

1. Elemente von metallischem Charakter.
Dampfdichte gleich Atomgewicht.

| Metall | Dampfdichte | Chem. Atom-gew. | Molekular-formel | Autoren |
|---|---|---|---|---|
| Quecksilber | 194,0 | 200,0 | $Hg_1$ | Bineau 1859 |
| „ | 197,0 | „ | „ | V. u. C. Meyer 1879 |
| „ | 203,0 | „ | „ | A. Scott 1886/87 |

| Metall | Dampfdichte | Chem. Atom-gew. | Molekular-formel | Autoren |
|---|---|---|---|---|
| Quecksilber | 202,8 | 200,0 | $Hg_1$ | H. Biltz u. V. Meyer 1889 |
| „ | 200 | „ | „ | H. v. Warttenberg 1906 |
| Cadmium | 114,1 | 112,4 | $Cd_1$ | Ste. Claire-Deville und Troost 1859 |
| „ | 120,2 | „ | „ | H. Biltz 1896 |
| Kalium | 44,34 | 39,15 | $K_1$ | Dewar u. Scott 1879 |
| „ | 37,7 | „ | „ | A. Scott 1886/87 |
| Natrium | 26,6 | 23,05 | $Na_1$ | Dewar u. Scott 1879 |
| „ | 25,5 | „ | „ | A. Scott 1886/87 |
| Zink | 68,6 | 65,4 | $Zn_1$ | J. Mensching u. V. Meyer 1886 |
| „ | 76,4 | „ | „ | H. Biltz 1896 |
| „ | 68 | „ | „ | H. v. Warttenberg 1908 |
| Silber | 108 | 107,9 | $Ag_1$ | H. v. Warttenberg 1908 |
| Blei | 220 | 207,9 | $Pb_1$ | H. v. Warttenberg 1908 |
| Thallium | 220 | 204 | $Tl_1$ | H. v. Warttenberg 1908 |

## 2. Elemente von halbmetallischem Charakter. Dampfdichte nimmt ab mit steigender Temperatur.

| Metall | Dampfdichte | Chem. Atom-gew. | Molekular-formel | Autoren |
|---|---|---|---|---|
| Selen 860—1040° | 237,4—184,4 | 79,2 | $Se_3$—$Se_2$ | Ste. Claire Deville und Troost 1859 |
| „ 1700° | 159,4 | „ | $Se_2$ | H. Biltz 1896 |
| „ 1850—2100° | 208—112 | „ | $Se_3$—$Se$ | H. v. Warttenberg 1908 |
| Tellur 1390—1440° | 261,8 | 127,6 | $Te_2$ | Ste. Claire Deville und Troost 1863 |
| „ 1700° | 264,3 | „ | $Te_2$ | H. Biltz 1896 |
| „ 2100° | 179—152 | „ | $(Te_2)$—$Te_1$ | H. v. Warttenberg 1908 |
| Wismut 1600—1700° | 346,9—293,1 | 208,5 | $Bi_2$—$Bi_1$ | H. Biltz u. V. Meyer 1889 |
| „ 2070° | 244—212 | „ | $Bi_1$ | H. v. Warttenberg 1908 |
| Antimon 1640° | 311,0—285,2 | 120,2 | $Sb_3$—$Sb_2$ | H. Biltz u. V. Meyer 1889 |
| Arsen | 157,7—155,5 | 75,0 | $As_2$ | H. Biltz u. V. Meyer 1889 |

Literaturnachweis, chronologisch geordnet.

1. H. Sainte Claire-Deville und Troost, (*Te*) (*S*) *Se Cd.* C. R. **49.** pg. 239 — 1859.
2. Bineau, *Hg.* C. R. **49.** pg. 799 — 1859.
3. H. Sainte-Claire Deville und Troost, (*Te*). C. R. **54.** pg. 682 — 1863.
4. J. Dewar und A. Scott, *Ka Na.* Proc. Roy. Soc. Lond. **29.** pg. 490 — 1879.
5. V. und C. Meyer, *Hg.* Chem. Ber. **12.** pg. 1426 — 1879.
6. J. Mensching und V. Meyer, *Zn.* Chem. Ber. **19.** pg. 3295 — 1886.
7. A. Scott, *Ka Na.* Proc. Roy. Soc. Edinb. **14.** pg. 410 — 1886/87.
8. H. Biltz und V. Meyer, *Bi Sb As Tl.* Ztschr. f. phys. Chemie **4.** pg. 249 — 1889. Chem. Ber. **22.** pg. 725 — 1889.
9. H. Biltz, *Tl Cd Zn Se Te.* Ztschr. f. phys. Chemie. **19.** pg. 385 — 1896.
10. H. v. Warttenberg, *Ag Hg Pb Tl Zn Bi Se Te.* Ztschr. f. anorg. Chemie. **56.** pg. 320 — 1908.

## II. Ueber den Nachweis der Einatomigkeit von Gasen oder Dämpfen aus der spezifischen Wärme.

Rein physikalisch kann eine Entscheidung über die Zahl der Atome in einer Molekel geliefert werden aus den spezifischen Wärmen. Und zwar erstens aus der Bestimmung der spezifischen Wärme selbst, wie ich in der Sitzung unserer Gesellschaft vom 12. Juli 1905 auseinandergesetzt habe (diese Sitz. Ber. 1905, pag. 93; siehe auch Ztschr. anorgan. Chemie **58**, pag. 356, 1908). In dieser Weise hat z. B. die Bestimmung der spezifischen Wärme für Helium, die Herr Robert Thomas im hiesigen Institut ausgeführt hat (Inaugural-Disseration 1905), einen unabhängigen Beweis für die Einatomigkeit der Heliummolekeln erbracht. Ich erwähne bei dieser Gelegenheit, dass diese Bestimmung in sorgfältigerer Weise von Herrn August Eggert wiederholt worden ist. Dieser erhielt (noch nicht publizierte Inaugural-Dissertation) für die spezifische Wärme des Heliums den Wert: $c_p = 1{,}265$, woraus sich ergibt:

$$M \cdot c_v = M \cdot c_p - 2{,}004$$
$$= 3{,}96 \cdot 1{,}265 - 2{,}004 = 3{,}005$$

Die Theorie erfordert für ein einatomiges Gas den Wert 3,006, der also experimentell sogar genauer wirklich gefunden wird, als nach der Sicherheit der Messungen zu erwarten war. Für ein zweiatomiges Gas hätte sich nach der Theorie 5,009, für ein dreiatomiges 6,012 ergeben müssen, sodass die Entscheidung mithin unzweifelhaft ist.

Zweitens kann die Entscheidung geliefert werden durch experimentelle Bestimmung des Verhältnisses $\varkappa = c_p/c_v$ der beiden spezifischen Wärmen eines Gases oder Dampfes. Während die Entscheidung durch den Wert der spezifischen Wärme selbst prinzipiell ungleich einfacher ist, ist diejenige durch Bestimmung von $\varkappa$ die ältere. Kundt und Warburg haben zuerst im Jahre 1876 (Pogg. Anm. **157**, p. 353) für Quecksilberdampf der Wert von $\varkappa$ bestimmt, ihn gleich 5/3 gefunden, und damit den aus der Dampfdichtebestimmung in Kombination mit dem Atomgewicht gezogenen Schluss von der Einatomigkeit der Quecksilberdampfmolekeln bestätigt gefunden. Für die experimentelle Bestimmung von $\varkappa$ kommen im Allgemeinen zwei Methoden in Betracht: die von Clément und Desormes, sowie die von Laplace aus der Schallgeschwindigkeit (vergl. Helmholtz, Vorlesungen, Bd. VI, pag. 189—195). Bekanntlich bestimmten Kundt und Warburg bei ihren Versuchen die Schallgeschwindigkeit im Quecksilberdampf nach der Methode der Kundtschen Röhre.

Auch Herr Wilhelm Wenz berechnete $\varkappa$ für Kaliumdampf aus der experimentellen Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in folgender Weise.

### III. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Kaliumdampf.

Von den zwei am leichtesten erhältlichen Alkalimetallen Kalium und Natrium hat Kalium den niedrigsten Siedepunkt

(667°), bietet also die günstigsten Versuchsbedingungen. Zur Vermeidung der Oxydation musste der Kaliumdampf in eine Röhre vollständig eingeschlossen sein. Als Material dieser Röhre konnte in Betracht kommen Eisen und Porzellan, welche Substanzen beide verwendet wurden. Glas kam nicht in Betracht, weil bei den betreffenden Temperaturen schon die Gefahr des Weichwerdens vorgelegen hätte, und ausserdem Glas von Kaliumdämpfen stark angegriffen wird. Dasselbe gilt auch für Porzellanröhren, weshalb diese bei den definitiven Versuchen nicht mehr verwendet wurden. Die Eisenröhre war 80 cm lang und hatte 2,5 cm Durchmesser. Das eine Ende war verschlossen durch eine dünne Glimmermembran, welche zum Schutz gegen die Kaliumdämpfe auf der Innenseite versilbert war. Von dem anderen Ende der Röhre her führte durch eine Stopfbüchse ein verschiebbarer Stempel in das Innere hinein; durch diesen Stempel wurde eine freie Gas- bezw. Dampfsäule von variabeler Länge abgesperrt. Die Heizung der Röhre samt Inhalt geschah elektrisch. Ueber das Eisenrohr war ein Porzellanrohr geschoben, auf welches eine Nickelspirale gewickelt war, die ihrerseits wieder mit einer dicken Asbesthülle umgeben wurde. Der Ofen wurde bis auf ca. 850° geheizt.

Die Erregung der Schallschwingungen geschah durch eine Stimmpfeife. Es zeigte sich, dass die Glimmermembran, welche die Versuchsröhre absperrte, nur auf ihren Eigenton kräftig ansprach. Es wurde daher die Stimmpfeife zunächst auf den Eigenton der Glimmermembran gebracht. Dies konnte durch das Mittönen der Membran unmittelbar erkannt werden. Dabei fand aber kräftiges Mittönen der Glimmermembran nur statt, wenn gleichzeitig der Stempel die Röhre bei einer Resonanzstelle ihres Dampfinhalts abschloss. Um diese doppelte Resonanz für den gegebenen Eigenton der Membran zu erzielen, wurde der Stempel der Stimmpfeife ganz langsam verschoben. Bei jeder Stellung der Stimmpfeife wurde dann der Stempel der Versuchsröhre über seinen

ganzen Spielraum hin- und herbewegt, bis auf diese Weise für die Stimmpfeife die Einstellung auf den Eigenton der Glimmermembran gewonnen war. Sodann wurde durch langsames Verschieben des Stempels in der Versuchsröhre an einer aussen angebrachten Teilung eine Reihe von Resonanzstellungen für den Röhreninhalt abgelesen.

Vorversuche mit Luft und Kohlensäure ergaben die Zuverlässigkeit der Methode.

Bei den definitiven Versuchen wurde zuerst mit Luftfüllung der Röhre der elektrische Ofen angeheizt bis die Röhre lebhaft glühte und dann noch etwa eine halbe Stunde gewartet. Dann wurde die Wellenlänge in Luft nach dem soeben beschriebenen Verfahren ermittelt. Sodann wurde die Luft durch Stickstoff verdrängt und etwa $2^1/_2-3$ g festes Kalium durch einen seitlichen Ansatz der Röhre, der für einen Augenblick geöffnet wurde, in deren Inneres eingeführt. Nach dem Verdampfen wurde einige Minuten gewartet, bis sich die Temperatur wieder ausgeglichen hatte; dann, etwa 10 Minuten nach der Wellenlängenmessung in Luft, wurde bei ungeänderter Stimmpfeifenstellung die Wellenlänge in Kaliumdampf gemessen.

Im folgenden sind die Zahlen einer definitiven Versuchsreihe angegeben:

a) Bestimmung der Wellenlänge in Luft:

| I. Versuchsreihe | | II. Versuchsreihe | |
|---|---|---|---|
| Einstellung des Stempels, | $\frac{\lambda}{2}$ | Einstellung des Stempels, | $\frac{\lambda}{2}$ |
| 12,2 } 32,3 } | 20,1 | 12,2 } 32,3 } | 20,0 |
| 52,6 } | 20,3 | 52,4 } | 20,1 |

Mittel aus I und II: $\frac{\lambda}{2} = 20{,}1$ cm

b) Bestimmung der Wellenlänge in Kaliumdampf

| Einstellung des Stempels, | $\frac{\lambda}{2}$ |
|---|---|
| 9,7 | |
| 29,2 | 19,5 |
| 48,5 | 19,3 |
| 68,3 | 19,8 |

Mittel: $\frac{\lambda}{2} = 19{,}5$ cm

Die Schallgeschwindigkeit in Kaliumdampf würde sich aus der in Luft und den Wellenlängen ergeben; eine Korrektion wegen der inneren Reibung und der Wärmeleitung kann dabei für solche Wellenlängenbestimmungen in Kaliumdampf gegenüber Luft in derselben Röhre nur einen untergeordneten Einfluss haben. Für uns hat sie direkt kein Interesse, vielmehr kommt es uns auf den Wert des Verhältnisses der spezifischen Wärmen für Kaliumdampf an. Hierfür gilt die Formel (z. B. Kohlrausch, Lehrb., pag. 231):

$$\varkappa_K = \varkappa_{Luft} \cdot \frac{\lambda^2_K \cdot d_K}{\lambda^2_{Luft} \cdot d_{Luft}}$$

Für den Wert von $\varkappa$ bei Luft setzen wir bei 850—900° nach Kalähne[1]) 1,39. Die DampfdK desichte aliums wollen wir zunächst als aus den oben (Abschnitt I) erwähnten Versuchen, obwohl sie stark angezweifelt worden sind, gleich 39,15 im Vergleiche mit Luft = 28,95 ansehen; dann ergibt das Verhältnis der spezifischen Wärmen, wie es aus den oben erwähnten Versuchen von Herrn Wilhelm Wenz, folgt für Kaliumdampf den Wert:

$$\varkappa = 1{,}77.$$

Hiermit ist die Einatomigkeit der Kaliumdampfmolekel erwiesen und es erübrigt nur noch nachzuweisen, dass andere

1) Kalähne, Drudes Ann. 11. pg. 225, 1903.

Annahmen über das Atomgewicht und die, wie oben erwähnt stark angezweifelte, Dampfdichte zu unmöglichen Schlussfolgerungen führen. Dies geht aus folgender Zusammenstellung hervor:

| Angenomm. Atomgewicht | Dampfd. = Molekulargew. | $x$ | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| 39,15 | $K_1$ 39,15 | 1,77 | Uebereinstimmung mit dem von der Theorie geforderten Wert |
| 39,15 | $K_2$ 78,3 | 3,54 | $x$-Wert unmöglich nach der Theorie |
| $\frac{39,15}{2} = 19,58$ | $K_1$ 19,58 | 0,89 | $x$-Wert unmöglich nach der Theorie |
| 19,58 | $K_2$ 39,15 | 0,89 | Die Theorie verlangt für $K_2$ 1,40 oder nach Maxwell 1,33, daher ist die Annahme unzulässig. |

Also folgt unzweideutig aus der Schallgeschwindigkeit die Einatomigkeit der Kaliumdampfmolekel.

Die ausführliche Publikation wird demnächst in der Inaugural-Dissertation von Herrn Wilhelm Wenz gegeben werden.

## Aufgelegte Schriften:

Verhandl. k. k. geol. Reichsanstalt Wien. No. 7—10. 1908.
Leopoldina. Heft XLV, No. 1. 1909.
Sitz.-Ber. phys.-mediz. Ges. Würzburg, No. 1—8. 1907.
Naturw. Ver. Schwaben u. Neuburg. 38. Bericht. 1908.
Ges. f. Völker- und Erdkunde Stettin. Ber. f. 1906, 7 und 1907, 8.
Correspondenzblatt d. Naturforscher-Verein. Riga. LI. 1908.
Mus. f. Nat.-Heim.-Kunde Magdeburg. Abh. u. Ber. I, 4. Magd. 1908.
Ber. oberhess. Ges. Giessen. N. F. Mediz. Abt. Bd. 3, 4. Naturw. Abt. Bd. 2. Giessen 1908.
Mem. Mus. Comp. Zoology. Harvard Coll. vol. XXXVI, No. 1. XI. Echini: the Genus Colobocentrotus. 1908.
Mem. & Proceed. Manchester Lit. & Phil. Soc. 1908/9. Vol. 53, p. 1. 1908.
Navy Depart. U. St. Naval Observ. Synopsis of the Report for 1908.
Proceed. California Acad. Sc. 4, 5. vol. III, pg. 41—48. 1908.
Canada Depart. of Mines: Geol. etc. of N. Brunswick, Ottawa 1907.
„ „ „ „ Summary Report. 1903.
Proceed. Amer. Acad. Arts & Sc. 44, 1—5. Boston 1908.
U. St. Geol. Surv. Water-Supply Papers. **219, 220, 222.** Wash. 1908.
„ „ „ „ Bulletin. **347, 349, 351, 369.** „ 1908.
Transact. Connecticut Acad. Arts & Sc. vol. III, p. 59—170. Newhaven 1908.
Bullet. N. York publ. Library. Jan. 1909. (vol. XIII, 1.) N. York 1909.
Missouri botanical garden. 19. Rep. 1908.
26. Annual report. Bureau of Americ. Ethnology. 1904—5. Wash. 1908.
Atti r. Acad. Lincei. v. XVII, 12, XVIII, 1. Roma 1908 & 9.
Bullet. Ac. imp. Sc. Pétersb. 1909, 1.
Parergones inst. geolog. Mexico. II, 7. Mexico 1908.
Archivos real. inst. Bacteriologico. Camara Pestana. II, 2. Liab. 1908.
University Studies. Lincoln, Nebrasca. 8, 1. Jan. 1908.
Transact. Connecticut Acad. Arts & Sc. vol. 14, pages 1—57. New Haven 1908.
26. annual report. Publ. Mus. Milwaukee. 1908.
Proceed. California Acad. Sc. 3, pg. 1—40. S. Francisco 1908.
Geological Survey of Canada: Department of Mines. 28 Karten und Grubenpläne.
Parergones del Inst. Geolog. Mexico, t. II, No. 4—6. Mexico 1908.
Catalogos fauna brazileira Museu Paulista. v. I. St. Paulo 1907.
Museu Paulista Notas preliminares. v. I, fasc. 1. Sao Paulo 1907.
Annales del Museo Nac. Buenos Aires. s. ser. t. IX. 1908.

Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanst. Wien, 1908. Nr. 11—14.
Verh. d. naturh. Ges. Hannover. 55.—57. Jahresber. Hann. 1908.
Abh. naturh. Ges. Nürnberg. 17. Bd. No. 1907 und Beigabe: S. Günther.
„ „ „ „ Mitteilungen. 1907. Nr. 1—6.
„ „ „ „ „ 1908. „ 1.
Abh. naturf. Ges. Senckenberg. Frankfurt a. M. 1908. 29. Bd. Heft 3.
Bericht d. Senckenberg. naturf. Ges. für 1908. Frankf. a. M. 1908.
Jahresbericht d. Gesellsch. f. Natur- u. Heilkunde zu Dresden für 1907/8. München 1908.
Bull. de l'Académie impériale des Sciences. Pétersbourg. 1907. V. Série. Tome XXV, 3—5.
„ „ „ Classe Physico-Mathematique. Dernier volume d. l. V. Série. Pétersbourg. 1907. 3mal.
„ „ „ VI. Série. Pétersb. 1908. Nr. 17 u. 18.
Atti della reale Accademia dei Lincei. Roma 1908. Vol. XVII. Fascicolo 10, 11.
Bref och Skrifvelser, K. v. Linné. Upsala-Universitet. Stockholm 1908. I, 2.
Entomologisk Tidskrift, Stockholm. Jahrg. 29. Heft 1—4. Upsala 1908.
Bergen Museum Publ. Crustacea of Norweg. Vol. V, XXIII u. XXIV. Bergen 1908.
Leopoldina, 44. Heft. 1908. Halle 1908.
Boletin Cuerpo Ingen. Minas Perú. Nr. 63—67. Lima 1908.
Bull. of the New York public Library. Vol. XII, No. 11, 12. New York 1908.
Proceed. Amer. Phil. Soc. Philad. XLVII. No. 189. Phil. 1908.
„ Acad. Nat. Sc. Philad. LX, p. II. 1908.
Amer. Naturalist. XLII. N. 504. Dez. 1908.
„ „ XLIII. N. 505. Jan. 1909.
Ohio State Univ. Bulletin. vol. XII. Suppl. p. No. 7, 8, 13; No. 12, 13, 15.
„ „ „ „ an adress by Rev. Wash. Gladden.
„ „ „ „ dito by Jones.
Smithson. Misc. Collections. vol. 53. No. 3 u. 4. (Cambrian Geol. Nr. 3 u. 4.) Washingt. 1908.
Bull. Mus. Compar. Zoölogy. v. LII, No. 6. v. LIII, No. 1, 2, 6. Cambr. 1903.
Mem. Mus. „ „ vol. 34, No. 2. „ 1908.
Annual report of the Curator Mus. Comp. Zoöl. Fr. 1907/8. Cambr. 1908.
Journ. Elisha Mitchell Scient. Soc. XXIV. No. 3. 1908.
University Studies, Lincoln Nebraska. vol. 8, No. 4. 1908.
Transact. Canadian Inst. No. 17, vol. 8, p. 2. Toronto.
Proceed. Transact. Nova Scotia Instit. vol. 11, 3 u. 4, vol. 12, 1. Halifax 1908.

New York State Museum. 60th annual report f. 1906. vol. V. Append. 7. Albany 1908.

New York State Museum. 60th ann. rep. f. 1906. vol. I, II, III. Append. 1—6. Albany 1908.

Smithsonian miscell. collections. part of vol. LIII, No. 5, laufende No. 1812. Washingt. 1908.

Amer. Naturalist. vol. XLIII, No. 506. Febr. 1909.

University Studies Nebrasca. vol. VIII, No. 23. Lincoln 1908.

Transact. Connecticut Acad. Arts & Sc. vol. 14, S. 171—236. New Haven 1909.

Boletin Instituto Geologico Mexico. No. 17. Mexico 1908.

Revista Museu Paulista. vol. VII. S. Paulo 1907.

Bull. Ac. Imp. Sciences St. Pétersbourg, 1909, No. 2 u. 3.

Bull. Soc. Imp. des Naturalistes 1907, No. 4.

Trav. Musée géol. Pierre le Grand II, 3—5. Pétersb. 1908.

Tromsö Museums Aarshefter. 29. 1906. Tromsö 1908—1909.

Annotationes zoologicae japonenses VI, pt. 5 und VII, pt. 1. Tokyo 1908.

Annali d. Facoltà di Medicina. Perugia. Ser. 3. vol. V, fasc. 1 u. VI, fasc. 1—4. Perugia 1908.

Atti r. Accad. dei Lincei 1909. vol. XVIII, fasc. 2, 3. Roma 1908/09.

Jahresber. ärztl. Ver. Frankfurt a. M. 1906.

Verh. Naturhistor. Ver. Jahrg. 65, 1. Hälfte. Bonn 1909.

Sitz.-Ber. „ „ 1908. 1. Hälfte. Bonn 1909.

Verh. naturhist. medic. Ver. Heidelberg. N. Folge. Bd. VIII, 5, IX, 1—3. Heidelberg 1908.

Zeitschr. Naturwiss. Halle. Bd. 80, Heft 3 u. 4. Halle, Dezbr. 1908.

Ber. naturf. Ges. Freiburg Br. XVII, 2. Freiburg 1909.

36. Jahresbericht Westfäl. Provinc. Ver. Wiss. Kunst für 1907/08. Münster 1908.

Mitteil. sächs. thüring. Ver. Erdkunde. 32. Jahrg. 1908. Halle 1908.

Verh. ornitholog. Ges. Bayern. 1907. VIII. München 1908.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 3 März 1909


In der ordentlichen Sitzung vom 10. März demonstrierte Herr K. Goes (als Gast) an

### Wehneltröhren

**Versuche mit elektrischen und akustischen Oscillationen,**

die Herr Wilh. Ziegler aus Santiago de Chile kürzlich im hiesigen Institut angestellt hat.

Schon im Jahre 1847 hat Helmholtz[1]) auf Grund einiger, damals bereits bekannter Erscheinungen beim Entladungsvorgang von Leidener Flaschen die Ansicht ausgesprochen, dass die Entladung in Oscillationen vor sich gehe. Bald darauf wurde diese Ansicht durch Versuche von Feddersen[2]) experimentell bestätigt. Dieser betrachtete die Funkenstrecke im rotierenden Spiegel und fand, dass das sichtbare, leuchtende Band von zahlreichen dunkeln Stellen unterbrochen war. Die Erscheinung liess weiter mit Sicherheit auf das Vorhandensein von oscillatorischen Entladungen schliessen. Bei der Bedeutung, welche die oscillatorische Entladung von Leidener Flaschen mit der Zeit gewann, war es wünschens-

1) Ueber Erhaltung der Kraft, Ges. Abh. I. pag. 46, Original pag. 44.

2) Feddersen, Pogg. Ann. **103**, pag. 69, 1858.

wert, anschaulichere und vollkommenere Demonstrationen dieser Erscheinung zu haben. Es haben daher unter anderem im Jahre 1899 Herr Professor Richarz und sein damaliger Assistent Herr Dr. Wilh. Ziegler eine Methode angegeben, die gestattet, die Oscillationen sowohl der Richtung als auch der Stärke nach sichtbar zu machen an den durch eine Ablenkungsspule bewirkten Bewegungen des Fluoreszenzflecks einer Braun'schen Kathodenröhre (vergl. Ann. der Physik 1900, I. pag. 468 und Physik Zeitschrift 1901, II. pag. 432.

Infolge der geringeren Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen in der Braun'schen Röhre gegenüber derjenigen der Wehnelt'schen Kathodenstrahlen erforderte die in diesen Abhandlungen beschriebene Versuchsanordnung eine Reihe von recht kostspieligen Apparaten, wodurch eine Wiederholung dieses Versuchs einem mit bescheideneren Mitteln ausgestatteten Institut sowie Schulen unmöglich wurde. Man kann nun die Dimensionen der zu verwendenden Apparate bedeutend reduzieren, wenn man leichter ablenkbare Kathodenstrahlen benutzt und dadurch die Empfindlichkeit der Anordnung erhöht. Dieses lässt sich, wie Herr Professor Ziegler kürzlich gezeigt hat, dadurch erreichen, dass man an Stelle der Braun'schen Kathodenröhre eine Wehneltröhre verwendet, welche gestattet, Kathodenstrahlen von geringer Geschwindigkeit und starker magnetischer Ablenkbarkeit zu erzeugen. Man kann entweder die eigentlichen vom glühenden Oxyd ausgehenden Wehnelt-Strahlen benutzen, die sehr grosse Ablenkungen geben, jedoch den Nachteil haben, dass sie die Fluoreszenz nur sehr schwach erregen, und daher die Erscheinung nicht auf grosse Entfernung sichtbar ist. Will man grosse Intensität des Fluoreszenzflecks, so verzichtet man besser auf die am meisten ablenkbaren Wehnelt-Strahlen und nimmt die vom glühenden Platin ausgehenden Strahlen, welche immer noch viel leichter ablenkbar sind als die in der Braun'schen Röhre rezeugten. Bei Anwendung solcher Kathodenstrahlen gelang

es Herrn Professor Ziegler, die sämtlichen bei den obigen Versuchen benutzten Apparate auf sehr kleine Dimensionen zu reduzieren. Die absolute elektrostatisch gemessene Kapazität der die oscillatorische Entladung gebenden Leidener Flaschen betrug rund 1000 cm bei Annahme der Dielektrizitätskonstante 5 für das Glas. Sie wurden geladen mittels eines nur 15 cm langen Induktoriums, während die Wehneltröhre mit einer kleinen Influenzmaschine betrieben wurde, und zum Glühen der Platinkathode 2 Akkumulatoren notwendig waren. Diese Anordnung eignet sich auch zur Demonstration der Veränderung von Schwingungsdauer mit Kapazität und Selbstinduktion.

Die grosse magnetische Ablenkbarkeit der vom glühenden Platin ausgehenden Kathodenstrahlen hat Herr Professor Ziegler weiter dazu benutzt, um diejenigen Obertöne zu demonstrieren, welche bei Orgelpfeifen und anderen Instrumenten sowie bei Vokalen die Klangfarbe bedingen. Er schaltete die Ablenkungsspule in den Stromkreis einer Batterie, welcher ausserdem noch ein Mikrophon enthielt. Es liessen sich dann beim Erzeugen der Töne sowie beim Sprechen der Vokale vor dem Mikrophon die Oberschwingungen im rotierenden Spiegel zeigen. Diese Methode soll zu phonetischen Untersuchungen von Herrn Professor Ziegler in Gemeinschaft mit Herrn Professor Lentz in Santiago Verwendung finden.

Ferner trug Herr K. Goes noch vor über:

## Auslösung Wehnelt'scher Kathodenstrahlen durch elektrische Wellen.

In zwei früheren Berichten[1]) war gezeigt worden, dass Wehnelt'sche Kathodenstrahlen durch elektrische Wellen unter gewissen Umständen ausgelöst werden können. Dabei war die Frage offen gelassen worden, ob die Schwingungsdauer des die Wellen erregenden Systems von Einfluss sei oder nicht. Darüber angestellte Versuche haben ergeben, dass ein wesentlicher Einfluss der Schwingungsdauer nicht besteht, und dass die beobachteten quantitativ verschiedenen Wirkungen auf die Wehneltröhre sich durch Verschiedenheiten der ausgesandten Energie des Erregesystems erklären lassen.

Versuche, die über das beim Oeffnen des Heizstromes einer Wehneltröhre vorübergehende Auftreten von Kathodenstrahlen angestellt wurden, haben noch zu keinem endgiltigen Resultat geführt und werden fortgesetzt. Es sei erwähnt, dass es gelingt, die so ausgelösten Kathodenstrahlen zu erhalten, wenn man den Heizstrom nach möglichst kurzer Zeit wieder schliesst.

Die beobachteten rückwärtsgehenden Kathodenstrahlen scheinen sich unter Annahme eines Aufsaugens des Oxyds in das glühende Platin hinein erklären zu lassen. Bei Kathoden aus Iridium treten sie nicht auf. Die Firma Gundelach in Gehlberg teilte auf Anfrage mit, dass neuerdings nur noch Kathoden aus Iridium in den Wehneltröhren hergestellt werden. Auch über jene Strahlen werden weitere Versuche angestellt.

Die Auslösung der Kathodenstrahlen selbst erklärt sich nach Vergleich aufgenommener Stromkurven mit den von

---

1) F. A. Schulze und K. Stuchtey, Marb. Sitz.-Ber. 1906, p. 178; 1907, p. 171.

Wehnelt und Jentzsch[1]) veröffentlichten Kurven als Auslösung von Stossionisation in der Röhre und einem dieser alsdann folgendem Auftreten des Kathodenstrahles. Seine Erhaltung nach dem Auftreten erklärt sich aus der ionisierenden Kraft des Strahles.

Schliesslich wurden noch Versuche angestellt über die Empfindlichkeit der Wehneltröhre als Wellendetektor in einer speziellen Schaltung. Es gelang den Kathodenstrahl auszulösen auf eine Entfernung von 23 m ohne Anwendung von Kapazitäten, Resonanz oder Luftdrähten. Grössere Entfernungen wurden noch nicht versucht, vermutlich reicht die Wirkung weiter. Es darf jedoch bereits auf Grund dieser Versuche behauptet werden: Eine Wehneltröhre stellt unter geeigneten Bedingungen einen empfindlichen Wellendetektor dar.

---

1) A. Wehnelt und Jentzsch, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 10. p. 610. 1908.

Hierauf sprach Herr Feussner über:

## Elementare Ableitung der Richtung der Interferenzstreifen bei keilförmigen Blättchen und Bemerkungen über den Strahlengang bei diesen Erscheinungen.

In meinen Arbeiten über die Interferenzerscheinungen dünner Blättchen[1]) habe ich den Gangunterschied der interferierenden Strahlen genau berechnet und daraus die Gesetze der Erscheinungen abgeleitet. Besonders habe ich Formeln gegeben für die Entfernung vom Blättchen, in der bei Anwendung breiter Lichtquellen die Streifen gesehen werden, für ihre Richtung und ihre Breite. Die Formeln für die Richtung, sind verschieden bei breiten und bei punktförmigen Lichtquellen. Im ersteren Fall ergibt sich

$$(1) \quad \ldots \quad tg\,\psi = \frac{\sin 2\alpha}{2\,(n^2 - \sin^2\alpha)\,\sin\varphi} \cdot \frac{D}{b\,\vartheta} - \frac{\cos\varphi}{\cos\alpha\,\sin\varphi}$$

im letzteren

$$(2) \quad \ldots \quad tg\,\chi = -\frac{\sin 2\alpha}{2\,(n^2 - \sin^2\alpha)\,\sin\varphi} \cdot \frac{D}{a\,\vartheta} - \frac{\cos\varphi}{\cos\alpha\,\sin\varphi}$$

worin $\psi$, bezw. $\chi$ die Winkel bedeuten, welche die Interferenzstreifen auf dem Schirm mit der $H$-Achse, der Durchschnittslinie der Einfallsebene des Achsenstrahls der Linse mit dem Schirm, bilden. Zu grösserer Deutlichkeit vergleiche man Fig. 1. Darin ist die Einfallsebene des in der Linsenachse verlaufenden Strahls $O_2OO_1$ zur $XY$-Ebene eines rechtwinkligen Koordinatensystems genommen, dessen $Z$-Achse also in der Vorderfläche des Blättchens liegt; die Linsenachse ist zur $X$-Achse gewählt. In den obigen Gleichungen bedeutet

1) Marburger Sitz.-Ber. 1880, S. 1. 1882, S. 1. Wiedem. Ann. **14**, 545. 1881. Handbuch der Physik, hrsg. v. Winkelmann. 1. Aufl. **2**, 561. 1893. 2. Aufl. **6**, 956. 1906.

nun $\alpha$ den Einfallswinkel ($O_2On = nOO_1$) des Achsenstrahls, $D$ die Dicke des Blättchens beim Punkt $O$, $n$ sein Brechungsverhältnis, $\vartheta$ den Neigungswinkel seiner beiden Flächen gegeneinander, $a$ seine Entfernung ($OO_2$) von der Lichtquelle, $b$ die von der Linse, endlich $\varphi$ den Winkel, den die Keilkante oder eine zu ihr parallele Grade ($OO'$) mit der $Z$-Achse bildet.

Vor einigen Jahren hat die Firma Carl Zeiss in Jena nach meinen Angaben ein Instrument zur genaueren Untersuchung dieser Interferenzerscheinungen hergestellt.[1]) Damit haben unter meiner Leitung die Herrn Dr. E. Schmitt[2]) und Karl Bartsch[3]) eine experimentelle Prüfung der obigen Formeln vorgenommen, die ihre vollständige Übereinstimmung mit den Beobachtungen ergeben hat. Besonders auffallend und früher allgemein angenommenen Vorstellungen widersprechend ist, dass die Streifen keineswegs den Stellen gleicher Dicke des Blättchens folgen, mit andern Worten, dass sie nicht dem Bild der Keilkante parallel verlaufen. Wie man leicht findet, wird die Tangente des Winkels, den das Bild der Keilkante auf dem Schirm mit der $H$-Achse bildet, durch den Ausdruck $-\frac{\cos\varphi}{\cos\alpha\sin\varphi}$ gegeben, der in den Gleichungen (1) und (2) als das zweite Glied der rechten Seite erscheint. Von dem ersten Glied hängt die Abweichung der Streifen von dieser Richtung ab. Ihre Neigung gegen die Keilkante ist also unter sonst gleichen Umständen um so grösser, je grösser bei Anwendung einer breiten Lichtquelle $\frac{D}{b\vartheta}$, d. h. das Verhältnis von $\frac{D}{\vartheta}$, dem Abstand der Keilkante von dem betrachteten Punkt des Blättchens, zu $b$, der Entfernung der Linse vom Blättchen, ist, während es bei Anwendung einer punktförmigen Licht-

1) Eine Beschreibung davon habe ich im Handb. der Phys., hrsg. v. Winkelmann. 2. Aufl. 6, 971, 1906 gegeben.

2) Eugen Schmitt, Über Richtung und Gestalt der Interferenzstreifen keilförmiger Blättchen.... Inaug.-Diss., Marburg 1906.

3) Die Arbeit des Herrn Bartsch ist im Druck.

quelle auf das Verhältnis von $\frac{D}{\vartheta}$ zu $a$, der Entfernung der Lichtquelle vom Blättchen ankommt. Es tritt also eine Drehung der Streifen bei breiter Lichtquelle ein, wenn man die Entfernung der Linse mit Schirm, an deren Stelle natürlich auch unmittelbar das Auge des Beobachters treten kann, vom Blättchen ändert, bei punktförmiger dagegen, wenn man die Entfernung der Lichtquelle ändert, während in dem ersten Fall der Abstand der Lichtquelle, im zweiten der der Linse ohne Einfluss ist. Alle diese Folgerungen sind durch die Beobachtungen auf das Vollkommenste nach Art und Grösse bestätigt worden. Während hierdurch also die Richtigkeit, der durch die Rechnung gefundenen Gleichungen (1) und (2) auch experimentell festgestellt ist, blieb es noch wünschenswert, das merkwürdige Verhalten der Streifen auch dem Verständnis unmittelbarer nahe zu bringen, als das die strenge Ableitung der Formeln tut.

Herr Prof. Richarz hat zuerst bemerkt, dass dazu der schon von Thomas Young für den Gangunterschied zweier interferierenden Strahlen bei dünnen Blättchen gegebene Ausdruck:

$$2\,n\,D\cos r$$

benutzt werden könne. Darin bedeutet $D$ wie oben die Dicke des Blättchens, $n$ sein Brechungsverhältnis und $r$ den Winkel, den der in das Blättchen gebrochene Strahl mit dem Einfallslot bildet. Da nun für alle Punkte eines und desselben Interferenzstreifens der Gangunterschied der gleiche sein muss, so wird, wenn beim Fortschreiten von einem Punkt eines Streifens zu dem benachbarten $\cos r$ sich ändert, z. B. kleiner wird, $D$ entsprechend grösser werden müssen. Es wird also dann der Interferenzstreifen nicht der Keilkante parallel verlaufen, sondern sich von ihr entfernen.

Diese Anregung habe ich verfolgt und will zeigen, wie sich die Betrachtung bei genauerem Eingehen gestaltet. Ich benutze dazu die Figuren 1 und 2. In Fig. 1 sind teils des

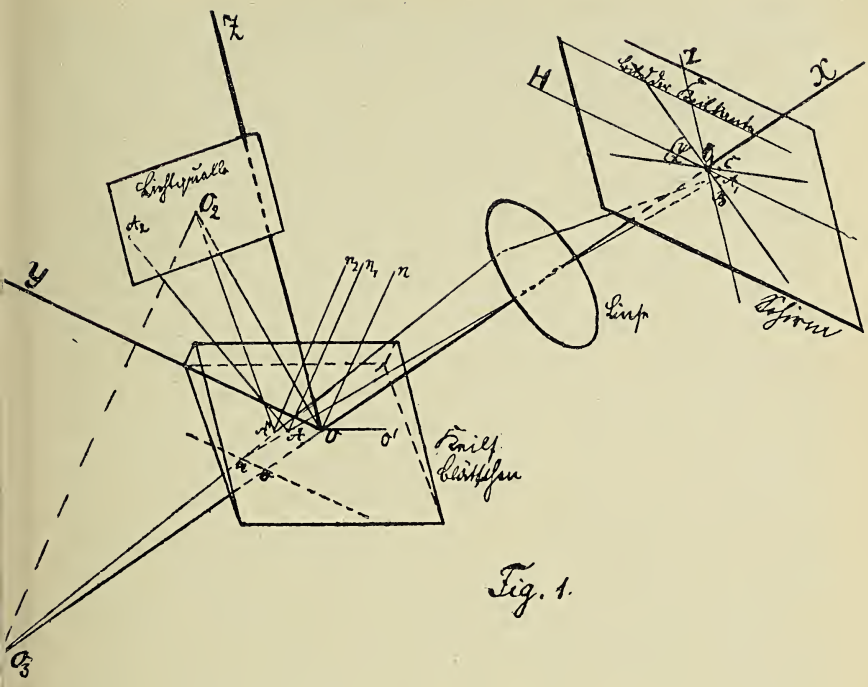

Z
Lichtquelle
$O_2$
$A_2$
Y
$n_2$ $n_1$ $n$
H
Z
X
Linse
Schirm
O
O'
Keilf. Blättchen
$O_3$

Fig. 1.

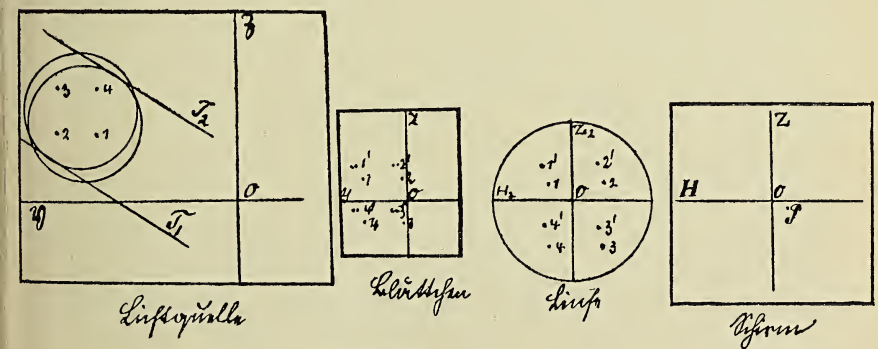

Z
$T_2$
$T_1$
O
Lichtquelle
Blättchen
Linse
Schirm
H
Z
O

Fig. 2.

verfügbaren Raumes, teils der Deutlichkeit wegen die Entfernungen zwischen Lichtquelle, Blättchen, Linse und Schirm sehr viel kleiner, der Keilwinkel aber viel grösser gezeichnet, als sie in Wirklichkeit sein müssen; auch sind, um die Figur nicht zu überladen, nur an der Vorderfläche zurückgeworfene Strahlen gezeichnet. Den Verlauf der zugehörigen, an der Rückfläche reflektierten kann man sich mit Hülfe der Fig. 2 klar machen, welche die Ausgangs- und Durchtrittspunkte von vier nach dem beliebig gewählten Punkt $P$ des Schirms gelangenden Strahlenpaaren bei Lichtquelle, Blättchen und Linse darstellt. Die nebeneinander gezeichneten Flächen sind auch des beschränkten Raumes wegen namentlich bei Lichtquelle und Blättchen, auch dem Schirm, bedeutend verkleinert; dagegen sind die den Strahlen zugehörigen Punkte für einen bestimmt angenommenen Fall berechnet und in ihrer wirklichen Lage eingetragen. In jeder Fläche ist ein Koordinatensystem angenommen, dessen Anfang der Treffpunkt des in der Linsenachse verlaufenden Strahls und dessen $Y$- (oder $H$-) Achse der Durchschnitt der $XY$-Ebene (Fig. 1) mit der betreffenden Fläche bildet. Die Figur bezieht sich auf eine bei den Beobachtungen verwandte Platte, für welche die Dicke (in der Mitte) $D = 1{,}17108$ Millimeter, der Keilwinkel $\vartheta = 56{,}6$ Sekunden, das Brechungsverhältnis für das benutzte Licht $n = 1{,}51921$ bestimmt worden war. Die Entfernung der Lichtquelle vom Blättchen ist zu $a = 2000$, die der Linse vom Blättchen zu $b = 400$, die Brennweite der Linse zu 200 Millimeter, der Winkel $\varphi = 90^0$, der Einfallswinkel des in der Achse der Linse verlaufenden Strahls $\alpha = 20^0$ angenommen. In dem Punkte $P$ vereinigen sich bei Anwendung einer breiten Lichtquelle zwei durch die Linsenöffnung hindurchgegangene Strahlenkegel, von denen der eine an der Vorderfläche, der andere an der Hinterfläche des Blättchens zurückgeworfen ist, und die rückwärts bis zur Lichtquelle verfolgt auf dieser durch die beiden in der Figur gezeichneten Kreise begrenzt werden. Der untere umfasst die Punkte der Lichtquelle, die

einen an der Vorderfläche, der obere die Punkte, die einen an der Rückfläche des Blättchens zurückgeworfenen Strahl nach dem Punkt $P$ senden. Von jedem Punkt der von beiden Kreisen überdeckten Fläche der Lichtquelle kommen nach $P$ zwei Strahlen, ein zusammengehöriges Paar, die mit einander interferieren. Dagegen schicken die übrigen Teile beider Kreisflächen von jedem Punkt immer nur einen Strahl nach $P$, erzeugen also da keine Interferenz, sondern nur eine ihrer Grösse proportionale Helligkeit. Von den aus den vier Quadranten der Linsenfläche nach $P$ gelangenden Strahlen ist zur Darstellung in der Figur jedesmal einer beliebig herausgegriffen. Die Punkte, wo diese vier Strahlen die Linse und die Vorderfläche des Blättchens treffen und von wo sie auf der Lichtquelle ausgehen sind durch 1, 2, 3, 4 bezeichnet, ferner sind für die von denselben Punkten der Lichtquelle ausgehenden und nach der Reflexion an der Rückseite des Blättchens nach $P$ gelangenden Strahlen die Durchtrittspunkte durch die Vorderfläche des Blättchens und die Linse durch $1'$, $2'$, $3'$, $4'$ bezeichnet; die mit denselben Zahlen versehenen Strahlen bilden jedesmal ein Paar. Die in $P$ zusammentreffenden Strahlenpaare haben im allgemeinen verschiedene Wegunterschiede, erzeugen daher auch verschiedene Intensitäten. Ich habe gezeigt,[1]) dass die durch eine gewisse lineare Gleichung zusammenhängenden Strahlenpaare, deren Ursprungsstellen auf der Lichtquelle also in bestimmten geraden Linien liegen, gleiche Wegunterschiede besitzen. In unserem Falle sind diese Graden die Parallelen zu den in Fig. 2 an den wirksamen Teil der Lichtquelle gelegten Tangenten $T_1$ und $T_2$. Gehen wir aber von $T_1$ nach $T_2$ hin, so nimmt der Gangunterschied ab; ist der Wechsel erheblich, mehrere Wellenlängen, so sind auch die von den verschiedenen Strahlenpaaren in $P$ erzeugten Intensitäten sehr verschieden

1) Marb. Sitz.-Ber. 1880, S. 18, 19. Wiedem. Ann. **14**, S. 556. Handb. der Physik, hrsg. v. Winkelmann. 2. Aufl. **6**, S. 962.

und werden nur eine mittlere Helligkeit bewirken. Das Gleiche geschieht in den benachbarten Punkten, sodass eine Interferenzerscheinung auf dem Schirm nicht merkbar sein wird. Am schärfsten wird diese, wenn der Wechsel der Gangunterschiede von $T_1$ bis $T_2$ am kleinsten ist. Das tritt dann ein, wenn auf eine bestimmte Stelle, für welche ich die Formel angegeben habe,[1]) akkommodiert wird. In unserem Fall liegt diese Stelle um 980 Millimeter hinter dem Blättchen. Sie ist nicht von der Lage der Lichtquelle wohl aber von der der Linse abhängig.

Wenn nun auf diesen Ort eingestellt und der Wechsel der Gangunterschiede zwischen $T_1$ und $T_2$ klein ist, so wird für die in $P$ erzeugte Intensität massgebend ein in der Mitte zwischen den Tangenten $T_1$ und $T_2$ ihnen parallel verlaufender Streifen der Lichtquelle sein. Wir können also die von sämtlichen Strahlenpaaren herrührende Helligkeit in $P$ der von dem durch den Punkt $O$ der Linse gegangenen Paar bewirkten proportionell setzen. Ich will dieses Paar künftig der Kürze wegen als das „mittlere Paar" bezeichnen.

Wir haben uns im Vorstehenden ebenso wie in Fig. 2 auf die Strahlen beschränkt, welche an der Vorderfläche, und die, welche bei einmaligem Durchlaufen des Blättchens, an der Hinterfläche zurückgeworfen werden. Man kann aber sehr leicht auch den Gang der Strahlen angeben, die von denselben Punkten 1, 2, 3, 4 der Lichtquelle ausgehend nach mehrmaligem Durchlaufen des Blättchens nach $P$ gelangen. Man braucht zu dem Ende nur die Linien $11'$, $22'$ u. s. w. um sich selbst zu verlängern und hat damit die Durchtrittspunkte der zweimal durch das Blättchen gehenden Strahlen; eine Verlängerung auf das dreifache des ursprünglichen Betrags gibt die Durchtrittspunkte der dreimal durchgehenden u. s. f. Wir wollen aber hier nicht genauer auf eine Behandlung dieser mehrfach zurückgeworfenen Strahlen eingehen.

1) Marb. Sitz.-Ber. 1880, S. 20. Wiedem. Ann. **14**, S. 557. Handbuch der Physik, hrsg. v. Winkelmann. 2. Aufl. **6**, S. 963.

An die Betrachtung des Strahlengangs möchte ich noch eine in mehrfacher Hinsicht beachtenswerte Bemerkung anschliessen. Die Fig. 3 stellt eine auf denselben Fall wie

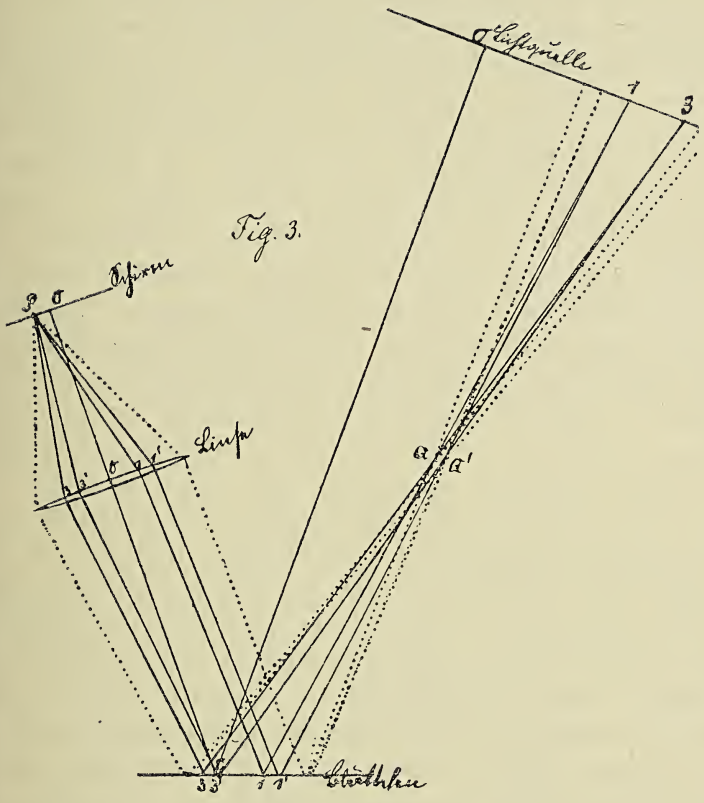



Fig. 3.

Fig. 2 bezügliche Projektion des Ganges der von den Punkten 1 u. 3 der Lichtquelle nach $P$ gelangenden Strahlen dar. Es sind dabei die Abmessungen in den Ebenen von Schirm, Linse, Blättchen und Lichtquelle in wirklicher Grösse gezeichnet, dagegen die in der Richtung des Strahlengangs auf der Strecke von der Lichtquelle bis zum Blättchen auf ein Zwanzigstel, auf der Strecke vom Blättchen durch die

Linse zum Schirm auf ein Zehntel der wirklichen Grösse zusammengezogen. Die Begrenzung des gesamten nach $P$ kommenden Lichtbündels ist durch die punktierten Linien angedeutet. Zwischen Blättchen und Lichtquelle besteht dieses aus zwei Teilen, dem, welcher an der Vorderfläche, und dem, welcher an der Hinterfläche zurückgeworfen wird. Es ist schon oben gesagt, dass in unserem Fall, um die Interferenzstreifen deutlich zu erhalten, auf einen Punkt eingestellt werden muss, der 980 Millimeter hinter dem Blättchen oder wegen der Zurückwerfung der Strahlen um diesen Betrag vom Blättchen nach der Lichtquelle hin liegt. An dieser Stelle würde also die Linse zwei Bilder des Punktes $P$ erzeugen, eins durch die an der Vorder- das andere durch die an der Hinterfläche zurückgeworfenen Strahlen. Umgekehrt müssen natürlich nun auch die von der Lichtquelle nach $P$ gelangenden Strahlen sämtlich durch einen dieser beiden Punkte gehen. Sie sind in der Fig. 3 durch $Q$ für die an der Vorderfläche und durch $Q'$ für die an der Hinterfläche zurückgeworfenen Strahlen bezeichnet. Die Lage der Punkte $Q$ und $Q'$ ist von $a$, der Entfernung der Lichtquelle ganz unabhängig.[1]) Nähert man diese nun dem Blättchen, so verringert sich zwar der Abstand der Mittelpunkte der Kreise auf ihr (Fig. 2), aber viel bedeutender zunächst deren Durchmesser, der in Fig. 3 durch den Abstand der durch einen der Punkte $Q$ oder $Q'$ hindurchgehenden punktierten Linien dargestellt wird. Die beiden Kreisen gemeinschaftliche Fläche wird immer kleiner, infolgedessen die Interferenz immer undeutlicher, und wenn die Lichtquelle an der Stelle angekommen ist, wo die inneren von $Q$ und $Q'$ ausgehenden punktierten Linien sich schneiden, hat sie ganz aufgehört. Das bleibt so bis die Lichtquelle jenseits $Q$ u. $Q'$ den Schnittpunkt der jetzt inneren punktierten Linien überschritten hat;

---

1) Marb. Sitzb. 1880. S. 20. Handb. d. Phys. Hrsg. v. Winkelmann. 2. Aufl. 6, S. 963. 1906.

dann treten zuerst undeutlich, allmälig schärfer werdend die Interferenzstreifen wieder auf.

Nur in einem besonders interessanten Fall tritt ein von dem beschriebenen verschiedenes Verhalten ein. Wenn nämlich die Ebene des Neigungswinkels der beiden Flächen des Blättchens sich mit der Einfallsebene des Achsenstrahls deckt, und die Keilkante auf der Seite der Lichtquelle liegt, so fallen bei Einstellung auf grösste Schärfe der Interferenzerscheinung die beiden Punkte $Q$ u. $Q'$ zusammen. Dann findet überhaupt durch Verschiebung der Lichtquelle kein Verschwinden der Streifen statt, und sie werden jetzt gerade dann am schärfsten, wenn die Lichtquelle an den Ort des Punktes $Q$ gebracht wird, denn dann kommen alle von da nach $P$ gelangenden Strahlen zur Interferenz, und zwar mit gleichem Gangunterschied. Es sind also die Bedingungen für die Deutlichkeit der Erscheinung, wie ich schon früher hervorgehoben habe[1]), besonders günstig.

Wenn der Ort, auf den zu accommodieren ist, vor dem Blättchen, nach der Linse hin liegt, so fallen die Punkte $Q$ u. $Q'$ immer zusammen, aber es gehen Strahlenpaare verschiedenen Gangunterschieds und auch solche, von denen nur ein Strahl nach $P$ gelangt hindurch, es wird daher die Schärfe der Erscheinung der vorhin erwähnten nicht gleichkommen. Die in $P$ zur Interferenz kommenden Strahlen interferieren in diesem Fall ähnlich auch in $Q$, und insofern könnte man wohl die von sämtlichen Punkten $Q$ gebildete Fläche als Interferenzfläche bezeichnen. Aber deutliche Streifen wird man hier nicht beobachten können, denn ausser den nach den $P$ gelangenden kommen noch sehr viele andere Paare nach den $Q$, die ganz verschiedene Gangunterschiede besitzen, so dass wohl immer die Bildung wahrnehmbarer Erscheinungen an dieser Stelle verhindert wird.

---

1) Handbuch der Physik, hrsg. v. Winkelmann. 2. Aufl. 6, S. 964. 1906.

Um nun die Richtung der Interferenzstreifen abzuleiten, wollen wir eine Lage des Blättchens voraussetzen, wie sie der grossen Mehrzahl der von den Herrn Dr. Schmitt und Bartsch angestellten Versuche entspricht, nämlich so, dass die Ebene des Neigungswinkels der beiden Flächen des Blättchens senkrecht auf der Einfallsebene des Lichts steht. Dann ist der Winkel $\varphi$ gleich 90 Grad. So ist die Lage des Blättchens auch in Fig. 1 gezeichnet.

Wir wollen zunächst annehmen, dass die Interferenzerscheinung durch eine breite Lichtquelle erzeugt werde, und wollen die Richtung eines auf dem Schirm durch den Koordinatenanfang $O_1$ hindurchgehenden Streifens festzustellen suchen. Wir haben oben gesehen, dass die von sämtlichen nach irgend einem Punkt des Schirms gelangenden Strahlenpaaren daselbst erzeugte Helligkeit der proportional zu setzen ist, welche das durch die Linsenmitte gehende Paar hervorruft. Wir müssen also den Gangunterschied des durch die Linsenmitte nach dem Punkt $O_1$ gehenden Strahlenpaars vergleichen mit dem eines ebendaher nach einem benachbarten Punkt gelangenden und die Lage des Punktes suchen, in dem der gleiche Gangunterschied wie in $O_1$ herrscht. Nun ist der von Thomas Young herrührende oben erwähnte Ausdruck nur das erste Glied des genaueren Ausdrucks für den Gangunterschied eines interferierenden Strahlenpaares auf dem Schirm.[1]) Wir können diesen Ausdruck schreiben:

$$(3) \quad \ldots\ldots \quad \Delta = 2D\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + (\mathfrak{A} + \mathfrak{B}).$$

Darin ist das erste Glied rechts das von Th. Young angegebene. Die in der Klammer stehenden Glieder sind sehr klein gegen das erste, aber meist noch gross gegen eine Wellenlänge des Lichts. Dabei stellt $\mathfrak{A}$ eine lineare homogene Funktion der Koordinaten dar, welche den ersten, an der

1) Marburger Sitz.-Ber. 1880, S. 18. Handb. der Physik, hrsg. v. Winkelmann. 2. Aufl. 6, 961. 1906

Vorderfläche des Blättchens zurückgeworfenen Strahl des Paares bestimmen. Für den in der Achse der Linse verlaufenden, nach $O_1$ gelangenden Strahl sind diese Koordinaten sämtlich Null, also verschwindet auch $\mathfrak{A}$; für benachbarte Punkte auf dem Schirm hat es aber einen von Null verschiedenen Wert, der eben die Änderung des Gangunterschieds gegen $O_1$ darstellt, denn das von den Koordinaten unabhängige $\mathfrak{B}$ hat für alle Punkte des Schirms denselben Wert, und ebenso das erste Glied, denn $\alpha$ bedeutet ja den Einfallswinkel des Achsenstrahls und $D$ die Dicke des Blättchens an der von diesem getroffenen Stelle. Vornehmlich aus der genaueren Untersuchung dieses $\mathfrak{A}$ habe ich in meinen früheren Arbeiten die Eigenschaften der Interferenzen dünner Blättchen entwickelt, und das ist auch für eine strenge Ableitung der für sie gültigen Gesetze der direkte und sichere Weg. Hier jedoch, wo es sich mehr darum handelt, den Grund für das Verhalten der Streifen anschaulich zu machen, will ich etwas anders verfahren und den oben angedeuteten Weg verfolgen. Wenn wir den Einfallswinkel des Achsenstrahls in Fig. 1 $O_2 On = nO O_1$ durch $\alpha_1$ und die Dicke des Blättchens in $O$ durch $D_1$ bezeichnen, so können wir den Gangunterschied des mittleren Strahlenpaars von $O_1$ durch

$$\Delta_1 = 2 D_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1} + (\mathfrak{B}_1)$$

ausdrücken, da, wie vorhin bemerkt, $\mathfrak{A}$ für diesen Punkt verschwindet. Der Gangunterschied des mittleren Strahlenpaars eines benachbarten Punktes, das nur um wenige Bogenminuten gegen das von $O_1$ geneigt sein möge, wird dann

$$\Delta_2 = 2 D_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1} + (\mathfrak{A}_1 + \mathfrak{B}_1).$$

Nun erkennt man leicht, und die Erfahrung bestätigt es, dass eine kleine Drehung der Linse, so dass ihre Achse jetzt den $O_1$ benachbarten Punkt trifft, keine merkbare Änderung in dem Gangunterschied $\Delta_2$ des dahin gelangenden mittleren Strahlenpaares bewirken kann. Durch diese Drehung hat

sich aber der Einfallswinkel des Achsenstrahls und die Stelle, wo er das Blättchen trifft, also auch die Dicke $D$ im allgemeinen geändert, ferner verschwindet jetzt wieder $\mathfrak{A}$, da der betrachtete Punkt in der Achse der Linse liegt. Nennen wir die geänderten Werte von $\alpha$ u. $D$ jetzt $\alpha_2$ u. $D_2$, so haben wir

$$\Delta_2 = 2 D_2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2} + (\mathfrak{B}_2),$$

worin $\mathfrak{B}_2$ aus $\mathfrak{B}_1$ durch den Übergang von $\alpha_1$ u. $D_1$ in $\alpha_2$ u. $D_2$ hervorgeht. Da $\mathfrak{B}$ sehr klein ist gegen das erste Glied, so ist auch seine durch diesen Übergang bewirkte Änderung sehr klein gegen die des ersten Glieds, so dass sie dagegen vernachlässigt werden kann und wir haben

$$\Delta_1 - \Delta_2 = 2 (D_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1} - D_2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}).$$

Wählen wir zum Vergleich mit $O_1$ den Punkt $A_1$, der auf der $H$-Achse liegt, so wird der erste Strahl des zu ihm gehörigen mittleren Paares das Blättchen in einem Punkte $A$ so treffen, dass $AO$ der Keilkante parallel, also die Dicke in $A$ dieselbe wie in $O$ ist. Wir haben dann

$$\Delta_1 - \Delta_2 = 2 D_1 (\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1} - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}).$$

Da der Winkel $\alpha_2 = A_2 A n_1$ grösser ist als $\alpha_1$, so ist die zweite Wurzel in der Klammer kleiner als die erste, also $\Delta_1$ grösser als $\Delta_2$. Daher kann $A_1$ nicht auf dem durch $O_1$ gehenden Interferenzstreifen liegen. Um einen diesem zugehörigen Punkt mit dem Einfallswinkel $\alpha_2$ zu finden, muss das zugehörige $D$ grösser werden. Man muss sich also von dem in der Figur auf dem Schirm eingetragene Bild der Keilkante (streng genommen müsste es heissen: Projektion des Bilds der Keilkante) entfernen etwa nach dem Punkte $B$. Die Linie $B O_1$ ist dann die gesuchte Richtung der Interferenzstreifen und sie macht mit der $H$-Achse den Winkel $\psi$, dessen Tangente in Gleichung (1) angegeben ist. Wir sehen, dass die Richtung der Streifen von der der $H$-Achse, die dem

Bild der Keilkante parallel ist, in den positiven Quadranten der $HZ$-Koordinaten hinein abweicht, wie es der Gleichung (1) und den Beobachtungen entspricht.

Wenn nun aber statt einer breiten eine punktförmige Lichtquelle angewandt wird, so gelangt bei Vernachlässigung der mehrfach das Blättchen durchlaufenden Strahlen nach jedem beleuchteten Punkt des Schirms nur ein an der Vorderfläche und ein an der Rückfläche zurückgeworfener Strahl, an der Grenze auch teilweise nur einer von beiden. Auf welcher Art dabei akkommodiert wird, ist im wesentlichen gleichgültig; wir wollen annehmen, dass die Einstellung für eine breite Lichtquelle beibehalten werde, und dass der Punkt $O_2$, wo der Achsenstrahl die Ebene der bisherigen Lichtquelle trifft, der leuchtende Punkt sei. Das nach dem Punkt $O_1$ des Schirms gelangende Strahlenpaar, ist dann das ebendahin kommende mittlere des vorigen Falls, und daher die jetzt in $O_1$ erzeugte Lichtstärke der früheren proportional. Nach dem Punkt $A_1$, den wir wieder mit $O_1$ vergleichen wollen, kommt jetzt aber nicht das mittlere Paar des früheren Strahlenkegels, denn das war von $A_2$ ausgegangen, wo sich jetzt kein leuchtender Punkt befindet. Um den an der Vorderfläche des Blättchens zurückgeworfenen Strahl zu finden, suchen wir zwei Punkte, die auf seiner Bahn oder deren Verlängerung nach rückwärts liegen müssen. Der eine dieser Punkte ist das von der Linse entworfene Bild des Punktes $A_1$. Es sei die durch den Punkt $o$ auf der Verlängerung von $O_1 O$ parallel zu $O_1 H$ gezogene Linie das Bild dieser $H$-Achse. Wenn wir dann zu der von $A_1$ nach dem ersten Hauptpunkt der Linse gezogenen Graden eine Parallele durch den zweiten Hauptpunkt legen, so ist deren Durchschnitt $a$ mit der eben durch $o$ gelegten Graden der gesuchte Bildpunkt von $A_1$. Der zweite den verlangten Strahl bestimmende Punkt ist der Bildpunkt von $O_2$ in der Vorderfläche des Blättchens. Wir finden ihn, wenn wir durch $O_2$ eine Parallele zu $On$, der Normalen auf diese Fläche ziehen und bis zum Durchschnitt mit der Ver-

längerung von $O_1 O$ führen. Der so erhaltene Punkt $O_3$ ist das Bild von $O_2$. Verbinden wir $O_3$ mit $a$, so haben wir in der Verlängerung dieser Graden von ihrem Durchschnitt $A'$ (in der Linie $O' OA$) mit der Vorderfläche des Blättchens an den gesuchten Strahl. Ein Blick auf die Figur zeigt, dass sein Einfallswinkel $O_2 A' n_2$ kleiner ist als $O_2 On$, der des nach $O_1$ gelangenden Strahls, während bei der breiten Lichtquelle das für die Lichtstärke in $A_1$ massgebende Paar $A_2 A A_1$ mit dem zugehörigen Strahl einen grösseren Einfallswinkel hatte als $O_2 On$. Es wird also jetzt der Gangunterschied in $A_1$ grösser als in $O_1$, und wir müssen, um bei unverändertem Einfallswinkel einen Punkt mit gleichem Gangunterschied zu finden, uns nach der Keilkante hin etwa nach $C$ bewegen. Die mit der positiven $H$-Achse den Winkel $\chi$ machende Grade $CO_1$ ist also die Richtung der Interferenzstreifen und weicht, wie es der Gleichung (2) und den Beobachtungen entspricht nach der Seite der negativen $Z$- von der $H$-Achse ab.

## Nachtrag zum Bericht vom 13. Januar

von A. Schwantke.

In seinem Vortrage, Seite 14 dieser Sitzungsberichte, hat der Verf. zum Vergleich mit seinen Tabellen, die die ziffermässige Änderung der Orthoklasanalysen mit steigender Albit- resp. Anorthitbeimischung veranschaulichen, auch die analog berechneten Werte von Wülfing für Plagioklasmischungen $Ab + An$ hinzugefügt.

Hierzu ist noch zu bemerken, dass diese Werte mit $Ab = NaAlSi_3O_8$ berechnet sind, während in der vom Verf. berechneten Tabelle der $Or + An$ Mischungen mit der doppelten Formel $K_2Al_2Si_6O_{16}$ für Orthoklas gerechnet wurde, was für den vorliegenden Zweck besser war, um langsam ansteigende Werte für $CaO$ zu erhalten. Für $Ab = Na_2Al_2Si_6O_{16}$ entsprechen dann den Zahlen von Wülfing andere prozentische Verhältnisse von $Ab : An$, wie aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlich ist (I nach Wülfing $Ab = NaAlSi_3O_8 + An = CaAl_2Si_2O_8$, II $Ab = Na_2Al_2Si_6O_{16} + An = CaAl_2Si_2O_8$).

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| I | $Ab_{95}\ An_5$ | $Ab_{90}\ An_{10}$ | $Ab_{85}\ An_{15}$ | $Ab_{80}\ An_{20}$ | $Ab_{75}\ An_{25}$ |
| II | $Ab_{90\cdot48}\ An_{9\cdot52}$ | $Ab_{81\cdot82}\ An_{18\cdot18}$ | $Ab_{37\cdot91}\ An_{26\cdot09}$ | $Ab_{66\cdot67}\ An_{33\cdot33}$ | $Ab_{60}\ An_{40}$ |

Die mit der doppelten Albitformel berechneten Werte für um 5 % steigenden Gehalt an Anorthit sind:

| | $Ab_{95}\ An_{15}$ | $Ab_{90}\ An_{10}$ | $Ab_{85}\ An_{15}$ | $Ab_{80}\ An_{20}$ | $Ab_{75}\ An_{25}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 68.11 | 67.39 | 66.62 | 65.82 | 64.97 |
| $Al_2O_3$ | 19.87 | 20.36 | 20.88 | 21.42 | 21.99 |
| $CaO$ | 0.55 | 1.12 | 1.72 | 2.35 | 3.02 |
| $Na_2O$ | 11.47 | 11.13 | 10.78 | 10.41 | 10.02 |

In der Sitzung vom 8. Dezember 1908 sprach Herr F. A. Schulze:

## Zur Schwedoff'schen ballistischen Theorie der Funkenentladung.

Vor einiger Zeit ist von Th. Schwedoff[1]) eine sehr bemerkenswerte Theorie der Funkenentladung aufgestellt worden, die in ganz ausgezeichneter Weise quantitative Uebereinstimmung bietet mit den bisherigen Messungen der Funkenpotentiale in homogenen elektrischen Feldern bei Atmosphärendruck. Zudem ist sie von grosser Einfachheit und ihre weitere Bestätigung würde nicht nur an und für sich zur Aufklärung der Vorgänge bei der Funkenentladung, sondern auch durch die damit gegebene Sicherung der ihr zu grunde liegenden Annahmen und deren weitere Konsequenzen für andere elektrische Vorgänge von Wert und Interesse sein.

Diese von Schwedoff als „ballistische" bezeichnete Theorie geht von folgender auf der modernen Ionentheorie fussenden und an die J. J. Thomsonsche Stosstheorie anknüpfenden Vorstellungen aus, bei deren Darlegung ich mich möglichst der eigenen Worte Schwedoffs bedienen möchte.

1) Th. Schwedoff, Ann. d. Phys. **19**, p. 918. 1906.

Schwedoff sagt:

„Ein freies Ion „fällt“ im elektischen Felde wie eine Bleikugel im Felde der Schwerkraft. Es erfährt dabei den mechanischen Widerstand des Mittels. Zugleich ziehe ich auch die Wirkung der elektrischen Kraft auf neutrale Gasmoleküle in Betracht. Unter diesen Bedingungen besteht die Grundannahme der Theorie darin, dass der Zerfall der Gasmoleküle in freie Ionen erst dann eintritt, wenn die Feldstärke und die kinetische Energie der im Gase vorhandenen Ionen hinreichende Grösse erreichen, um durch ihre kombinierte Wirkung Gasmoleküle zu zersetzen. Tritt einmal der Zerfall der Moleküle auf der ganzen Strecke zwischen den Elektroden ein, so erfolgt auch die Funkenentladung.“

Durch die elektrische Kraft $h$ sollen die beiden Ionen eines Gasmoleküls mit den Ladungen $+\varepsilon$ und $-\varepsilon$ um eine Strecke auseinandergezogen werden mit der Kraft $h\varepsilon$. Diese Kraft leistet einen Teil der zur vollständigen Trennung erforderlichen Arbeit, der angesetzt wird in der Form $z = h\varepsilon\lambda$, wo $\lambda$ eine Länge ist. Der andere Teil der gesamten erforderlichen Trennungsarbeit $\omega$ wird geliefert durch die kinetische Energie $^1/_2\, mu^2$ des anfliegenden Ions.

Bei wachsender Feldstärke $h$ gelangt man zu einer Feldstärke $h_0$, die allein schon genügen würde, eine Trennung des Ionenpaares herbeizuführen. $h_0$ bestimmt sich aus dem Ansatz $\omega = h_0\,\varepsilon\lambda$. Man hat also $\frac{mu^2}{2} = (h_0 - h)\,\varepsilon\lambda$.

Der Bewegung des Ions soll sich nun ferner noch eine Reibungskraft entgegensetzen, die Schwedoff als proportional $u^2$ ansetzt. Die Bewegungsgleichung des Ions ist also $m\frac{du}{dt} = h\varepsilon - pu^2$. Der maximale Wert der Energie gehört jenen Elektronen, die die ganze Funkenlänge durchlaufen. Aus diesen Annahmen ergibt sich bei Beschränkung

auf homogene Felder als Beziehung zwischen Schlagweite $l$ und Feldstärke $h$, wenn zur Abkürzung gesetzt wird

$$\frac{m}{2p} = c$$

$$1) \quad \ldots\ldots\ldots \quad h = \frac{h_0}{1 + \frac{c}{\lambda}\left(1 - e^{-\frac{l}{c}}\right)}$$

Schwedoff zeigt zunächst, wie dieser Ausdruck qualitativ vollkommen die eigentümlichen Beziehungen zwischen Schlagweite und Feldstärke in homogenen Feldern wiedergibt, insbesondere die Konstanz der zur Entladung nötigen Feldstärke bei grossen Schlagweiten, wo also diese kritische Feldstärke unabhängig von der Schlagweite ist, und ferner den enormen Anstieg der Entladungsfeldstärke bei kleinen Schlagweiten. Numerisch ergibt sich $h_0$ aus den Versuchen von Earhart[1]) bei sehr kleinen Schlagweiten zu etwa 6400 el.-stat. Einheiten (C. G. S.). $\lambda$ berechnet sich zu $\lambda = 2{,}2\,\mu$. Für $c$ ergibt sich als erster Näherungswert $c = 41\,\mu$.

Um die experimentellen Resultate vollkommen genau wiederzugeben, ist nach Schwedoff in Formel 1) $c$ nicht als ganz konstant, sondern als Funktion von $l$ anzunehmen, und zwar gibt er als denjenigen Wert von $c$, der sich den Experimenten am besten anschliesst, an:

$$c = 43 \; log \; Brigg \left(1 + \frac{l}{8}\right) Mikron.$$

Bei Annahme dieser Werte von $c$ ist die Uebereinstimmung der nach 1) berechneten Feldstärken, die zur Funkenentladung erforderlich sind, mit den vorliegenden experimentellen Daten eine vorzügliche.

Schwedoff selbst hat diese Theorie nur für homogene Felder durchgeführt; es ist ihm leider nicht mehr vergönnt gewesen, seine Theorie weiter auszubauen.

---

1) F. Earhart, Phil. Mag. (6) 1, p. 153. 1901.

Soll nun diese Theorie und damit die ihr zu Grunde liegenden Hypothesen und theoretischen Konsequenzen wirklich richtig sein, so wird man vor allem verlangen müssen, dass sie auch für ungleichförmige Felder numerisch mit der Erfahrung übereinstimmende Werte für die Funkenpotentiale ergibt, und zwar mit denjenigen Werten von $h_0$, $\lambda$ und $c$, die sich aus den Messungen bei homogenen Feldern ergeben. Erst dann wird sie als sicher begründet gelten dürfen.

Es soll im folgenden gezeigt werden, dass die Theorie, wenigstens in der vorliegenden Form, für ungleichförmige Felder versagt.

Eine Besprechung der möglichen Bedenken und Einwände gegen die Schwedoffsche Theorie soll am Schlusse erfolgen.

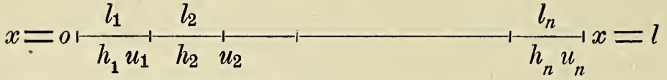
Es seien also alle Annahmen von Schwedoff beibehalten mit Ausnahme derjenigen, dass die Feldstärke $h$ konstant ist. Es soll $h$ eine Funktion von $x$, des Ortes zwischen den Elektroden sein. Wir wollen uns aber dabei auf den Fall beschränken, dass die Funkenbahn gradlinig ist. $c$ sei zunächst als konstant angenommen, $x$ sei die zur Zeit $t$ vom Elektron zurückgelegte Weglänge, $u$ seine Geschwindigkeit. Es gilt dann die Gleichung:

$$2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad dx = \frac{mu\,du}{h\varepsilon - pu^2}$$

Wir teilen nun die Funkenlänge $l$ zwischen $x = o$ und $x = l$ in $n$ Teile $l_1, l_2, \ldots l_k, \ldots l_n$, innerhalb deren $h$ als konstant angenommen werden soll mit den Werten $h_1, h_2, \ldots h_k \ldots h_n$. Wir integrieren 2) für ein solches Intervall, etwa für $h_k$. Es wird

$$l_k = \frac{m}{2p}\, lognat\, \frac{1 - \frac{p}{\varepsilon h_k} u_{k-1}^2}{1 - \frac{p}{\varepsilon h_k} u_k^2}$$

wenn $u_{k-1}$, $u_k$ die Geschwindigkeiten am Anfange und am Ende von $l_k$ sind.




Es gelten also succesive die folgenden Gleichungen:

$$3) \quad \ldots\ldots\ l_1 = \frac{m}{2p}\, log\, nat \frac{1}{1 - \frac{p}{\varepsilon h_1} u_1^2} \qquad , \text{da } u_0 = 0.$$

$$l_2 = \frac{m}{2p}\, log\, nat \frac{1 - \frac{p}{\varepsilon h_2} u_1^2}{1 - \frac{p}{\varepsilon h_2} u^2{}_2}$$

$$l_3 = \frac{m}{2p}\, log\, nat \frac{1 - \frac{p}{\varepsilon h_3} u_2^2}{1 - \frac{p}{\varepsilon h_3} u_3^2}$$

$$\vdots$$

$$l_n = \frac{m}{2p}\, log\, nat \frac{1 - \frac{p}{\varepsilon h_n} u_{n-1}^2}{1 - \frac{p}{\varepsilon h_n} u_n^2}$$

Wir setzen:

$$\frac{m}{2p} = c \; ; \; \frac{p}{\varepsilon h_n} = B_n$$

Aus der letzten Gleichung kommt dann:

$$e^{\frac{l_n}{c}} = \frac{1 - B_n u_{n-1}^2}{1 - B_n u_n{}^2}, \quad B_n u_n{}^2 = 1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + B_n u_{n-1}^2 e^{-\frac{l_n}{c}}$$

oder $$B_n u^2{}_n = 1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + \frac{B_n}{B_{n-1}} B_{n-1} u_{n-1}^2 e^{-\frac{l_n}{c}}$$

Nach der vorletzten Gleichung des Gleichungssystems 3 ist nun

$$B_{n-1} u_{n-1}^2 = 1 - e^{-\frac{l_{n-1}}{c}} + B_{n-1} u_{n-2}^2 e^{-\frac{l_{n-1}}{c}}$$

$$B_n u_n^2 = 1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + \frac{B_n}{B_{n-1}} e^{-\frac{l_n}{c}} - \frac{B_n}{B_{n-1}} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})}$$

$$+ \frac{B_n}{B_{n-1}} \frac{B_{n-1}}{B_{n-2}} B_{n-2} u_{n-2}^2 c^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})}$$

$$= 1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + \frac{B_n}{B_{n-1}} e^{-\frac{l_n}{c}} - \frac{B_n}{B_{n-1}} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})}$$

$$+ \frac{B_n}{B_{n-2}} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})} \left\{ 1 - e^{-\frac{l_{n-2}}{c}} B_{n-2} u_{n-3}^2 e^{-\frac{l_{n-2}}{c}} \right\}$$

$$1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + \frac{B_n}{B_{n-1}} e^{-\frac{l_n}{c}} - \frac{B_n}{B_{n-1}} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})} + \frac{B_n}{B_{n-2}} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})}$$

$$\frac{1}{1 - 2} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1} + l_{n-2})} + \frac{B_n}{B_{n-3}} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1} + l_{n-2})} \cdot B_{n-3} x^2_{n-3}$$

Für $B_{n-3} u_{n-3}^2$ ist der Wert aus der viertletzten Gleichung einzusetzen u. s. w. bis man an das Glied mit $B_1 u_1^2$ gelangt. Es wird

$$B_n u_n^2 = 1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + \frac{h_{n-1}}{h_n} c^{-\frac{l_n}{c}} \left( 1 - e^{-\frac{l_{n-1}}{c}} \right) + \frac{h_{n-2}}{h_n}$$

$$e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})} \left( 1 - e^{-\frac{l_{n-1}}{c}} \right)$$

$$+ \ldots + \frac{h_1}{h_n} e^{-(l_n + \ldots + l_2)} B_1 u_1^2.$$

Es ist aber $B_1 u_1^2 = 1 - e^{\frac{l_1}{e}}$,

also $B_n u_n^2 = \left[1 - e^{-\frac{l_n}{c}} + \frac{h_{n-1}}{h_n} e^{-\frac{l_n}{c}} \left(1 - e^{-\frac{l_n}{c}}\right) + \frac{h_{n-2}}{h_n} e^{+\frac{l_n + l_{n-1}}{c}} \left(1 - e^{-\frac{l_{n-2}}{c}}\right) + \ldots + \frac{h_1}{h_n} e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1} + \cdot + l_2)} \left(1 - e^{-\frac{l_1}{c}}\right)\right] = \frac{p}{\varepsilon h_n} u^2{}_n;$

$u_n^2 = \frac{\varepsilon h_n}{p} \cdot [\ldots]$. Am Ende der Funkenstrecke hat das Elektron die kinetische Energie

$$\frac{m}{2} u_n^2 = \frac{m}{2} \frac{\varepsilon h_n}{p} [\ldots] = c \varepsilon h_n [\ldots]$$

Nach der Schwedoffschen Theorie muss, wenn Funkenentladung eintreten soll, sein: $\frac{1}{2} m u_n^2 = (h_0 - h_n) \varepsilon \lambda$, also:

$$h_n \varepsilon c [\ldots] = (h_0 - h) \varepsilon \lambda ; h_n = \frac{h}{1 + \frac{c}{\lambda} [\ldots]}$$

Der Klammerausdruck [. . .] lässt sich schreiben in der Form:

$$[\ldots] = 1 - \frac{h_1}{h_n} e^{-\frac{1}{c}(l_1 + l_2 + \ldots + l_n} - \frac{1}{h_n} \Big\{ (h_n - h_{n-1}) e^{-\frac{l_n}{e}} + (h_{n-1} - h_{n-2}) e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1})} + \ldots + (h_2 - h_1) e^{-\frac{1}{c}(l_n + l_{n-1} + \ldots 2)} \Big\}$$

Alle Strecken $l_k$ mögen nun kleiner und kleiner, schliesslich als Differentiale $dx$ angenommen werden. Es lässt sich dann schreiben:

$$[\ldots] = 1 - \frac{h_1}{h_l} e^{-\frac{l}{c}} - \frac{1}{h_l} \int_0^l \frac{dh}{dx} c^{-\frac{l-x}{c}} dx$$

wenn mit $h_1$ und $h_l$ die Feldstärken an den Elektroden bezeichnet werden. Aus $h_n$ wird dann:

$$h_l = \frac{h_0}{1 + \frac{c}{\lambda}\left\{1 - \frac{h_1}{h_l} e^{-\frac{l}{c}} - \frac{1}{h_l} \int_0^l \frac{dh}{dx} e^{-\frac{l-x}{c}} dx\right\}}$$

Für gleichförmige Felder

$$\left(h_1 = h_2 = \ldots = h_n, \frac{dh}{dx} = 0\right)$$

geht der Ausdruck in den Schwedoffschen

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{c}{\lambda}\left(1 - e^{-\frac{l}{c}}\right)}$$

über, wie es sein muss.

Zur bequemen numerischen Berechnung soll noch eine kleine Umformung vorgenommen werden.

Es ist

$$\int_0^l \frac{dh}{dx} e^{-\frac{l-x}{c}} dx = \left[h e^{-\frac{l-x}{c}}\right]_0^l \int_0^l h \cdot \frac{de}{dx} e^{-\frac{l-x}{c}} dx$$

$$= h_l - h_0 c^{-\frac{l}{c}} - \frac{1}{c}\int_0^l h e^{-\frac{l-x}{c}} dx; \text{ mithin}$$

$$\frac{1}{h_l}\int_0^l \frac{dh}{dx} e^{-\frac{l-x}{c}} dx = 1 - \frac{h_0}{h_l} e^{-\frac{l}{c}} - \frac{1}{c}\int_0^l \frac{h}{h_n} e^{-\frac{l-x}{c}} dx$$

Also:

$$4) \quad \ldots \quad h_n = \frac{h_0}{1 + \frac{1}{\lambda}\int_0^l \frac{h}{h_n} e^{-\frac{l-x}{c}} dx}$$

Man überzeugt sich leicht, dass für homogene Felder dieser Ausdruck wieder vollständig in den Schwedoffschen übergeht.

Es ist nun zu prüfen, ob der Ausdruck 4) für inhomogene Felder in Uebereinstimmung mit den vorliegenden Messungen ist oder nicht, wenn man für $\lambda$, $c$ und $h_0$ die von Schwedoff aus den Messungen an homogenen Feldern berechneten Werte einsetzt.

Messungen in homogenen Felder liegen noch vor für Kugelelektroden, konzentrische Cylinder als Elektroden, sowie Spitzen und Ebenen als Elektroden.

Wir wollen den Fall von Kugelelektroden (eine Kugel isoliert; die andere zur Erde) benutzen. Für diesen Fall lassen sich aus den von G. Kirchhoff[1]) angegebenen Formeln die Potentiale an jedem Ort, und damit auch die Feldstärken $h$

1) G. Kirchhoff, Ges. Abhandlungen, p. 78. Leipzig 1882.

auf der Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte, auf welcher Strecke sie für unseren Zweck nur in Betracht kommen, streng angeben. Die Ausdrücke werden jedoch unbequem für die Rechnung. Ich hab es deshalb vorgezogen, diese Feldstärken auf folgendem allerdings nicht strengen Wege zu berechnen, der die Methode der elektrischen Bilder benutzt.

Befindet sich eine Kugel von Radius $R$ auf dem Potential Null, und ausserhalb der Kugel im Abstande $p$ von ihrem Mittelpunkt $O$ ein Punkt mit der Elektrizitätsmenge $+ e$, so ist das Potential ausserhalb der Kugel so zu berechnen, als ob sich ausser dem Punkt $P$ mit der Ladung $+ e$ noch im Innern der Kugel auf der Linie $OP$ im Punkte $P'$ eine Ladung $- e'$ befände. Die Streke $PO' = p'$ ist gegeben durch die Beziehung $p' = \frac{R^2}{p}$ und $e'$ ist gegeben durch $e' = e\frac{R}{p}$. Nun sind allerdings diejenigen Aequipotentialflächen, die schalenförmig den Punkt umgeben, keine Kugelflächen; sie sind aber nahe Kugelflächen, solange sie nicht nahe an die Kugelfläche vom Potential Null herankommen.[1]) Sie sind sogar noch in ziemlich weiter Entfernung annähernd Kugelflächen, deren Mittelpunkt aber nicht mehr im $P$ selbst, sondern etwas auf der Centrilinie verschoben liegt und sich leicht berechnen lässt.

Für den vorliegenden Fall sind aber gerade die Fälle von Interesse, wo die Schlagweite gross gegen die Kugelradien ist, weil dann das Feld besonders inhomogen wird. Je näher die beiden Kugelflächen einander kommen, desto mehr nähert sich das Feld einem homogenen, desto besser ist natürlich die Uebereinstimmung mit der Schwedoffschen Theorie; etwaige Abweichungen können dann nicht hervortreten.

---

1) Siehe hierzu die entsprechenden Erörterungen und Zeichnungen in Cl. Maxwell, Treatise, deutsch von Weinstein, I. p. 176 und Tafel III. Aus der Tafel erkennt man, wie nahe die Aequipotentialflächen um $P$ der Kugelgestalt kommen, je näher sie an $P$ liegen.

Es wird genügen an einem einzigen Beispiel die Formel 4) zu prüfen.

Es seien hierzu die Messungen von Heydweiller[1]) über das Entladungspotential bei Kugeln von 0,25 cm Radius gewählt; es sind dies, soweit ich sehe, die kleinsten Kugeln, an denen Messungen ausgeführt sind. Zwar liegen Messungen von Baille[2]) vor an Kugeln von nur 0,1 cm Radius, doch giebt Baille nichts über die Art der Zuführung an, welche die Entladungspotentiale sehr beeinflussen kann. Heydweiller giebt folgende Tabelle:

| Funkenlänge in cm | Funkenpot. in el.-stat. Einh. |
|---|---|
| 0.1 | 16.1 |
| 0.2 | 27.9 |
| 0.3 | 37.8 |
| 0.4 | 45.9 |
| 0.5 | 52.4 |
| 0.6 | 57.3 |
| 0.7 | 61.4 |
| 0.8 | 63.0 |
| 1.0 | 67.3 |
| 1.5 | 74.4 |

Die Konstruktion und Rechnung nach der Methode der elektrischen Bilder ergiebt, dass man in dem vorliegenden Fall schon von einer Funkenlänge von etwa 0,5 cm an annehmen kann, dass die Aequipotentialflächen um den Punkt mit der Ladung $e$ nahezu Kugelflächen sind, und dass die Kraft in der Nähe dieser Kugelflächen einfach so berechnet werden kann, als ob in dem Feld nur die Elektrizitätsmenge $e$

1) Heydweiller, Wied. Ann. 48, p. 235, 1893.

2) Baille, Ann. de Chim. et de Phys. [5] 25, p. 486, 1882.

im Mittelpunkt der Kugel vorhanden wäre, und die zweite Kugelfläche nicht existierte.

In dem Ausdruck

$$h_n = \frac{h_0}{1 + \frac{1}{\lambda}\int_0^l \frac{h_x}{h_l} e^{-\frac{l-x}{c}} dx}$$

ist nun, wenn wir uns auf Funkenlängen bis zu 1 cm beschränken, $c$ höchstens 0,014 cm zu setzen; wird $l - x$ zehnmal grösser als $c$, also zu 0,14 cm angenommen, so liefert diese Stelle schon keinen merklichen Beitrag mehr zum Integral; selbst für $l - x = 3\,c$ ist $e^{-\frac{l-x}{c}}$ nur noch etwa 0,05. Man sieht also, dass für Kugelflächen von 0,25 cm Radius schon bei Funkenstrecken von ca. 0,5 cm an die Grösse $h_n$, die die Funkenentladung nach der Schwedoffschen Theorie herbeiführen soll, denselben Wert haben muss; mithin müsste von dieser Funkenlänge an auch das Funkenpotential konstant bleiben, unabhängig von der Schlagweite sein. Nun ist ja allerdings in dem Intervall 0,5 — 1,0 cm das Funkenpotential bei Kugelelektroden von 0,25 cm Radius sehr viel weniger veränderlich, als für Ebenen, doch ist immer noch eine Aenderung um etwa 25 % vorhanden, erst bei noch grösseren Schlagweiten scheint sich das Funkenpotential einem Grenzwert zu nähern.

Aber auch die absolute Grösse von $h_n$ und damit die Grösse des Funkenpotentials stimmt mit dem wirklichen Wert auch nicht annähernd überein.

Die wirklichen Werte von $h_n$ bei der Funkenentladung für Kugelelektroden von 0,28 cm Radius sind in der folgenden Tabelle angegeben, die auch die Funkenfeldstärken $h$ für ebene Elektroden enthält.

| Funkenlänge in cm | $h_n$ | $h'$ |
|---|---|---|
| 0.5 | 208 | 109 |
| 0.6 | 228 | 106 |
| 0.7 | 244 | 106 |
| 0.8 | 252 | 106 |
| 0.9 | 260 | 105 |
| 1.0 | 268 | 106 |

Wir haben $$\frac{h'_n}{h_n} = \frac{1 + \frac{1}{\lambda}\int_0^l e^{-\frac{l-x}{c}}\,dx}{1 + \frac{1}{\lambda}\int_0^l \frac{h_x}{h_l} e^{-\frac{l-x}{c}}\,dx}$$

Nach dem vorigen braucht man in den Integralen zur numerischen Berechnung nur diejenigen Werte des Integranden zu berücksichtigen, die sehr nahe an der Elektrode liegen, höchstens etwa von der Elektrode an noch 0,05 cm weit auf der Funkenstrecke. Auf dieser kleinen Strecke ist aber die Aenderung $h_x$ nur sehr klein, in unserem Falle wird dort $\frac{h_x}{h_l} = 0{,}694$ und wächst nach der Elektrode hin schnell gegen 1.

$h_n$ kann also nur höchstens einige % grösser werden als $h'$. Es ist aber ganz ausgeschlossen, dass es die beobachteten Werte auch nur annähernd erreicht. Eine nähere numerische Berechnung ergiebt z. B. für eine Funkenlänge von 1 cm $\frac{h_n}{h'_n} = 1{,}09$ während in Wirklichkeit $\frac{h_n}{h'_n}$ den Wert 2,53 hat.

Das Entladungspotential würde sich demnach nach der Schwedoff'schen Theorie berechnen zu 29,0, während es sich experimentell zu 67,3 ergibt.

Aus diesen Ergebnissen folgt also, dass entweder die Schwedoff'sche Theorie überhaupt nicht haltbar ist, oder dass sie wenigstens noch erheblicher Modifikationen bedarf.

In letzterer Hinsicht sei nun auf eine Ueberlegung hingewiesen, aus der hervorgeht, dass die von Schwedoff berechneten Werte von $c$ tatsächlich zu klein sind.

Schwedoff geht nämlich wie schon gesagt, folgendermassen vor: Es wird zuerst die zur Entladung erforderliche Feldstärke $h$ berechnet unter der Annahme, dass $c$ vollständig konstant ist, zu

$$h = \frac{ho}{1 + \frac{c}{\lambda}\left(1 - e^{-\frac{l}{c}}\right)}$$

Es zeigt sich nun, dass die nach dieser Formel berechneten Entladungsfeldstärken, für $c = 41\,\mu$, nicht genau mit den experimentell beobachteten übereinstimmen. Schwedoff sucht den Grund dafür darin, dass $c$ nicht vollkommen konstant ist, sondern mit der Funkenlänge zunimmt. Um diese neuen Werte von $c$ zu berechnen, geht er so vor, dass er direkt in die für konstantes $c$ geltende Formel zu den betreffenden Werten von $l$ denjenigen Wert von $c$ sucht, der den experimentell gefundenen Wert von $h$ liefert.

Bei dieser Art der Berechnug wird man aber nicht denjenigen Wert von $c$ finden, der an dem Endpunkt von $l$ gilt, nachdem das Elektron die Länge der Funkenstrecke durchlaufen hat, sondern einen Wert, der zwischen dem Anfangswert von $c$, also dem für sehr kleinen $l$ geltenden Wert, und dem gesuchten, am Ende der Funkenstrecke geltenden, liegt, also einen Mittelwert aller auf der Strecke von $0$ bis $l$ geltenden Werte von $c$. Der wirkliche Wert von $c$

für den Endpunkt der Funkenstrecke $l$ muss notwendig grösser sein, als der von Schwedoff angegebene. Es wäre nicht undenkbar, dass diese wirklichen Werte von $c$ so gross wären, wie sie nach der angestellten Berechnung sein müssten, wenn die Schwedoffsche Theorie auch für ungleichförmige Felder mit der Erfahrung übereinstimmende Funkenpotentiale liefern soll, dass sich also die Schwedoffsche Theorie doch allgemein, auch für ungleichförmige Felder bestätigte.

Um dies zu untersuchen, soll angenommen werden, dass die wirklichen Werte von $c$ linear mit der Funkenlänge ansteigen. Es sei $c = a + bx$. Wenn auch die wahre Zunahme von $c$ ein anderes Gesetz befolgen mag, so wird man wenigstens die Grössenordnung des bei der Berechnung von $c$ gemachten Fehlers abschätzen können.

Unter dieser Annahme $c = a + bx$ soll nun die Bewegungsgleichung des Elektrons integriert und die Entladungsfeldstärke $h_n$ für die Funkenlänge $l$ berechnet werden. Ein Vergleich des Ausdruckes für diese Feldstärke $h_n$ mit dem Schwedoffschen Ausdruck, in dem der von ihm zur Funkenlänge $l$ angegebene Wert von $c$ einzusetzen ist, der mit $c'$ bezeichnet werde, liefert den Wert von $b$; man kann so den Wert von $c$ am Ende der Funkenstrecke $l$, $c_l = a + bl$ berechnen und mit $c'$ vergleichen.

Für $a$ soll der aus der Schwedoffschen Theorie zu berechnende Wert gesetzt werden. Die von Schwedoff angegebene empirische Formel $c = 43 \log Brigg \left(1 + \frac{l}{8}\right) \mu$ ist hier nicht verwendbar; sie ist erst von $l = 0{,}0025$ cm an von Schwedoff berechnet und gültig; für $l = 0$ würde sie ergeben $c = 0$. Nach den Messungen von Earhart von etwa $8\,\mu$ an (für noch kleinere Werte von $l$ sind die Messungen zu schwankend und unsicher) würde etwa $c = 40\,\mu$ die Beobachtungen gut wiedergeben. Demgemäss sei angenommen $a = 40\,\mu$.

Im Gegensatz zu der vorigen Berechnung, bei der $c$ konstant, aber $h$ veränderlich war, soll nun $h$ konstant, aber $c$ eine Funktion von $x$ sein. Die Rechnung selbst gestaltet sich aber ganz ähnlich.

Wir nehmen wieder zunächst an, dass sich auf der Länge der Funkenbahn $l$ der Wert von $c$ auf den Teilstrecken $l_1, \ldots . l_n$ unstetig ändert von $c_1$, $c_2 \ldots$ bis $c_n$, bez. $p$ sich unstetig ändert von $p_1$, $p_2 \ldots$ bis $p_n$. Dem Gleichungssystem 2) entspricht dann das System:

$$l_1 = c_1 \; log\, nat \frac{1}{1 - \frac{p_1}{\varepsilon h} u_1^2}$$

$$l_2 = c_2 \; log\, nat \frac{1 - \frac{p_2}{\varepsilon h} u_1^2}{1 - \frac{p_2}{\varepsilon h} u_2^2}$$

$$l_n = c_n \; log\, nat \frac{1 - \frac{p_n}{\varepsilon h} u_{n-1}^2}{1 - \frac{p_n}{\varepsilon h} u_n^2}$$

Durch eine Rechnung, die der obigen ganz analog ist und daher nicht ausführlich wiedergegeben werden soll, ergibt sich

$$\frac{p_n}{\varepsilon h} u_n^2 = \left[ \frac{c_n}{c_n} \left( 1 - e^{-\frac{l_n}{c_n}} \right) + \frac{c_{n-1}}{c_n} e^{-\frac{l_n}{c_n}} \left( 1 - e^{-\frac{l_{n-1}}{c_{n-1}}} \right) \right.$$

$$+ \frac{c_{n-2}}{c_n} e^{-\left( \frac{l_{n-1}}{c_{n-1}} + \frac{l_n}{c_n} \right)} \left( 1 - e^{-\frac{l_{n-2}}{c_{n-2}}} \right) + \ldots$$

$$\left. + \frac{c_1}{c_n} e^{-\left( \frac{l_n}{c_n} + \ldots + \frac{l_2}{c_2} \right)} \left( 1 - e^{-\frac{l_1}{c_1}} \right) \right]$$

oder $\frac{\varepsilon h}{p_n}[-] = {u_n}^2$ oder nach der Schwedoffschen Grundannahme: $\frac{m}{2}\frac{\varepsilon h}{p_n}[-] = \frac{m}{2}{u_n}^2 = (h_0 - h)\,\varepsilon\lambda = c_n h\,[-]$ oder

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{c_n}{\lambda}[-]}$$

Der Klammerausdruck lässt sich schreiben, wenn man alle Teilstrecken von $l$ gleich gross $= l'$ annimmt:

$$[\,] = 1 - \frac{c_1}{c_n} e^{-l'\left(\frac{1}{c_1} + \ldots + \frac{1}{c_n}\right)} - \frac{1}{c_n}\Bigg\{(c_n - c_{n-1}\, e^{-\frac{l'}{c_n}} + (c_{n-1} c_{n-2}\, e^{-l'\left(\frac{1}{c_n} + \frac{1}{c_{n-1}}\right)} + \ldots + (c_2 - c_1)\, e^{-l'\frac{1}{c_n} + \frac{1}{c_{n-1}} + \ldots + \frac{1}{c_n}\Big)}\Bigg\}$$

Lässt man $l'$ immer kleiner werden, so kann man schreiben:

$$[\,] = 1 - \frac{c_0}{c_n} e^{-l'\left(\frac{1}{c_n} + \ldots + \frac{1}{c_0}\right)} - \frac{1}{c_n}\int\left\{\left(\frac{dc}{dx}\right)_n e^{-\frac{l'}{c_n}} + \left(\frac{dc}{dx}\right)_{n-1} e^{-l'\left(\frac{1}{c_n} + \frac{1}{c_{n-1}}\right)} + \ldots\right\} dx$$

Unserer Annahme gemäss sei nun

$$c = a + bx,\ \frac{dc}{dx} = b.$$

Es wird

$$[\,] = 1 - \frac{a}{a+bl}\, e^{-l'\left(\frac{1}{c_n}+\ldots+\frac{1}{c_0}\right)} \left\{ \frac{b}{a+bl} \left\{ e^{-\frac{l'}{c_n}} + e^{-l'\left(\frac{1}{c_n}+\frac{1}{c_{n-1}}\right)} + \ldots \right\} dx \right.$$

Ferner wird:

$$l'\left(\frac{1}{c_n}+\ldots+\frac{1}{c_x}\right) = \int_x^l \frac{dx}{a+bx} = \left[\frac{1}{b}\log(a+bx)\right]_x^l = \frac{1}{b}\log\frac{a+bl}{a+bx}$$

Mithin

$$[\,] = 1 - \frac{a}{a+bl}\, e^{\frac{1}{b}\log\frac{a}{a+bl}} - \frac{b}{a+bl}\int_0^l e^{\frac{1}{b}\log\frac{a+bx}{a+bl}}\, dx$$

$$= 1 - \left(\frac{a}{a+bl}\right)^{\frac{1}{b}+1} - \frac{b}{a+bl}\int_0^l \left(\frac{a+bx}{a+bl}\right)^{\frac{1}{b}} dx$$

$$= 1 - \left(\frac{a}{a+bl}\right)^{1+\frac{1}{b}} - \frac{b}{(a+bl)\,1+\frac{1}{b}}\int_0^l (a+bx)^{\frac{1}{b}}\, dx$$

$$= 1 - \left(\frac{a}{a+bl}\right)^{1+\frac{1}{b}} - \frac{b}{b+1}\left\{1 - \left(\frac{a}{a+bl}\right)^{1+\frac{1}{b}}\right\}$$

$$= 1 + \left(\frac{a}{a+bl}\right)^{\frac{1}{b}+1}\left(\frac{b}{b+1}-1\right) - \frac{b}{b+1}$$

$$= 1 - \frac{1}{1+b}\left(\frac{a}{a+bl}\right)^{1+\frac{1}{b}} - \frac{b}{b+1}$$

$$= \frac{1}{1+b}\left\{1 - \left(\frac{a}{a+bl}\right)^{1+\frac{1}{b}}\right\}$$

Es wird

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{a+bl}{\lambda} \cdot \left\{1 - \frac{1}{1+b}\left(\frac{a}{a+bl}\right)^{1+\frac{1}{b}}\right\}}$$

Andererseits ist nach Schwedoff

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{c}{\lambda}\left(1 - e^{-\frac{l}{c'}}\right)}$$

Sollen beide gleich sein, so muss sein

$$c'\left(1 - e^{-\frac{l}{c'}}\right) = a + bl\left\{1 - \left(\frac{1}{1+b}\right)\frac{a}{a+bl}^{1+\frac{1}{b}}\right\}$$

Hieraus kann also bei bekannten Werten von $l$, $c'$, $a$ der Wert von $b$ und damit von $c_n = a + bl$ gefunden werden. (Ist, wie zu vermuten, $b$ klein gegen 1 und $l$ gross gegen $c'$, so wird, da stets $a < a + bl$, annähernd $b = \frac{c' - a}{l - c'}$)

Setzen wir $l = 0{,}1$ cm
$c' = 0{,}0080$ cm
$a = 0{,}0040$ cm

so wird $b = 0{,}044$, also $c_n = c_{0,1} = 0{,}0084$ gegen $c'_{0,1} = 0{,}0080$ cm.

Es ergibt sich also der wahre Wert von $c_n$ nach der strengen Herleitung zwar grösser als der Schwedoffsche Wert, aber doch nur um ein ganz geringes, etwa um 3%.

$l = 0{,}1$ cm war deshalb gewählt, weil nach Schwedoff ungefähr bis dahin die Werte von $c$ annähernd gleichmässig wachsen und von da nur noch wenig zunehmen.

Wenn man annähme, dass diese lineare Zunahme noch über $l = 0{,}1$ cm hinaus bis zu $l = 1$ cm nach demselben Gesetz zunimmt, so würde man allerdings für $l = 1$ cm zu einem Wert von $c$ kommen, der ungefähr 4 mal grösser ist, als der Schwedoffsche Wert für $l = 1$ cm, also zu Werten von $c$, die vielleicht eben die zur Geltung der Schwedoffschen Theorie im ungleichförmigen Felde erforderliche Grösse hätten.

Indessen kann man jedenfalls diese Annahme nicht machen; denn von $l = 0{,}1$ an bleibt der von Schwedoff angegebene Wert konstant, oder wächst wenigstens von da an bis zu $l = 1$ nur sehr viel langsamer als in dem Intervalle zwischen $l = 0$ und $l = 0{,}1$. Ungefähr muss dies nun aber jedenfalls auch der Gang der wahren Werte von $c$ sein. Diese sind zwar stets grösser als die entsprechenden Werte von $c$, werden aber doch im ganzen dieselbe Art der Abhängigkeit von der Funkenlänge zeigen, also zuerst sehr schnelle, dann langsamere Zunahme der Funkenlänge.

Noch eine weitere Möglichkeit dafür, dass vielleicht doch die wahren Werte von $c$ erheblich grösser sind als hier berechnet worden ist, scheint in folgendem Umstand sich zu bieten.

Nach der empirischen Formel von Schwedoff für $c$ nähert sich $c$ mit abnehmendem $l$ immer mehr dem Wert Null, und zwar immer schneller, je näher $l$ an Null kommt; es ist einleuchtend, dass bei so rapidem Anstieg der Schwedoffschen Werte von $c$ bei kleiner Funkenlänge die wahren Werte von $c$ noch grösser sein werden, als hier angegeben.

Indessen ist es zunächst unmöglich, dass $c$ wirklich streng Null wird, da dies unendlich grosse Reibungskraft der Elektronen im Anfang der Bewegung bedeuten würde, d. h. die Elektronen könnten sich überhaupt nicht in Bewegung setzen und die Funkenfeldstärke würde also für jede beliebige Funkenlänge den Wert $h_0$ haben müssen. Nimmt man für $l = 0$ $c$ zwar nicht direkt Null, aber enorm klein an, so würde $c$ im Verlauf der Bewegung innerhalb ungeheuer verschiedener Grössen sich ändern; wie mir scheint, geriete dann die ganze Schwedoffsche Hypothese ins Ungewisse und Willkürliche. Eine nicht gar zu grosse Schwankung des Koeffizienten der Gegenkraft wird man doch wohl fordern müssen. Für ganz kleine Werte von $l$ wird ausserdem die Berechnung von $c$ sehr unsicher, weil dann

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{c}{\lambda}\left(1 - c^{-\frac{l}{e}}\right)}$$

von $c$ kaum noch abhängig ist, also Versuchsfehler bei der Bestimmung von $h$, wie sie bei so kleinen Funkenlängen ja ganz besonders zu erwarten sind, den Wert von $c$ sehr fälschen können. Immerhin scheint aus den Zahlen von Earhart hervorzugehen, dass für sehr kleine Werte von $l$, etwa von $l = 8\,\mu$ an $c = 40\,\mu$ oder auch $c = 60\,\mu$ die Beobachtungen am besten wiedergeben, jedenfalls aber nicht kleinere Werte von $c$.

Sind so die Werte von $h$ für kleine Werte von $l$ zur Berechnung von $c$ untauglich, so sind sie besonders geeignet zur Berechnung der Konstanten $\lambda$. Ist $l$ klein gegen $c$, so wird

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{l}{\lambda}}$$

Man erhält also den Wert von $\lambda$, ohne den Wert von $c$ nötig zu haben oder überhaupt eine Voraussetzung über das

Gesetz der Reibungskraft annehmen zu müssen. Es liegt dies daran, dass für so kleine Werte von $l$ die Wirkung der Gegenkraft überhaupt noch nicht zur Geltung kommt, und die Geschwindigkeit des Elektrons so berechnet werden kann, als ob es nur unter Einwirkung der Kraft $h\varepsilon$ stände. Nach Durchlaufen der Strecke $l$ ist dann seine kinetische Energie $\frac{1}{2} m u^2 = h\varepsilon l$.

Nach Schwedoff ist für den Funkenübergang:

$\frac{1}{2} m u^2 = (h_0 - h)\varepsilon\lambda$, also $(h_0 - h)\varepsilon\lambda = h\varepsilon l$ oder

$$h = \frac{h_0}{1 + \frac{l}{\lambda}}$$

Die so berechneten Werte von $\lambda$ stimmen sehr gut mit dem von Schwedoff angegebenen Wert; es findet sich etwa $\lambda = 2{,}3\,\mu$.

Schliesslich könnte noch folgendes angeführt werden. Es ist hier bei der Berechnung des Entladungspotentials im inhomogenen Feld stillschweigend $c$ als Konstante betrachtet. Nur unter dieser Annahme gilt die Formel

$$h_n = \frac{h_0}{1 + \frac{1}{\lambda}\int_0^l \frac{h}{h_n} e^{-\frac{l-x}{c}} dx}$$

Für $c$ haben wir dann aber die Schwedoffschen bezw. die korrigierten Werte in dieser nur für konstantes $c$ abgeleitete Formel eingesetzt. Streng genommen hätte wieder die Integration der Bewegungsgleichung für inhomogene Felder unter Annahme eines mit $l$ veränderlichen $c$ durchgeführt werden müssen.

Durch den früheren im Prinzip ganz ähnlich geführte Rechnungen lässt sich zeigen, dass die Grösse $h_n$ bei

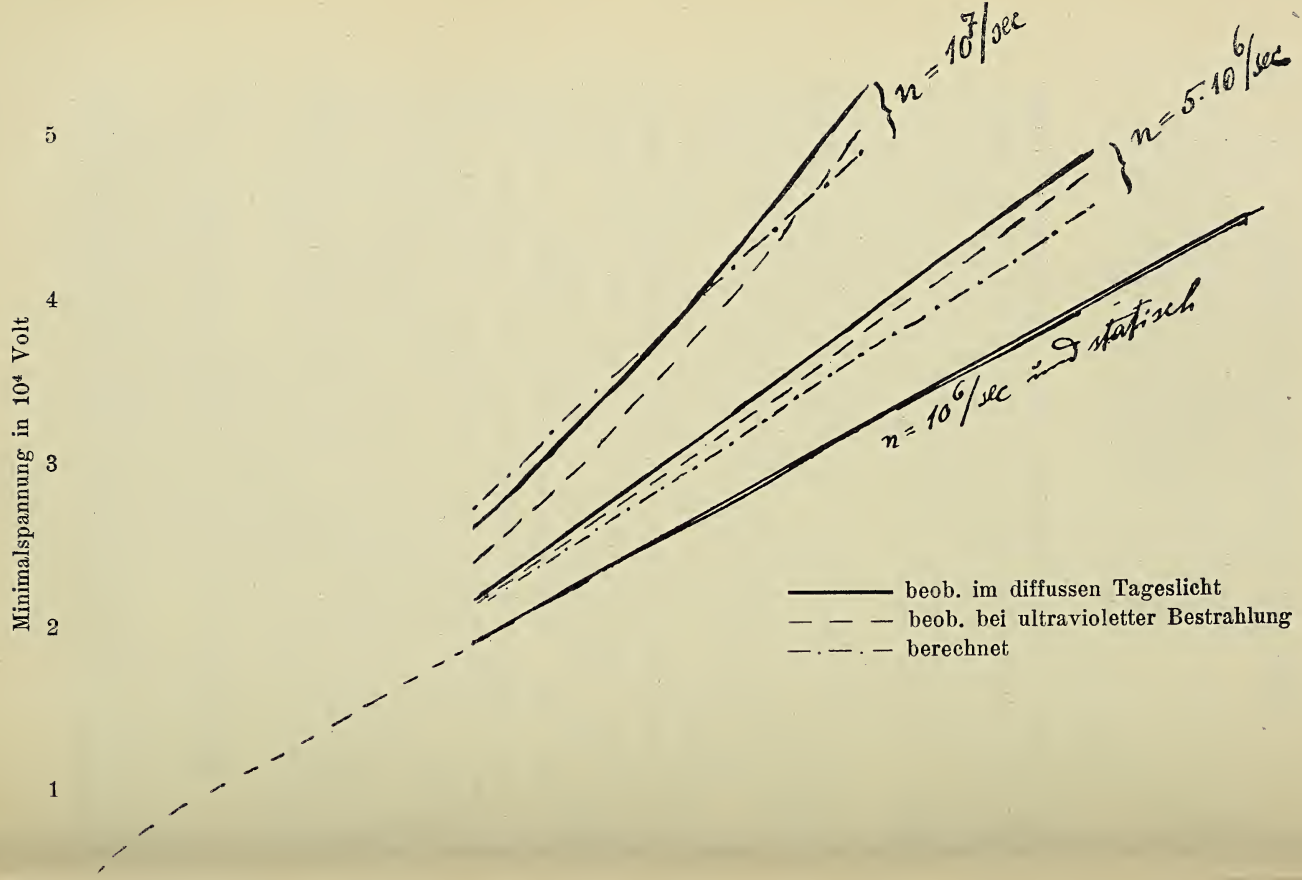
inhomogenen Feldern fast gleich gross ist, ob man nun die Veränderlichkeit von $c$ berücksichtigt oder nicht.

Als Resultat der vorstehenden Rechnungen ergibt sich also, dass die Schwedoffsche ballistische Theorie der Funkenentladung in inhomogenen Feldern nicht mit den experimentell ermittelten übereinstimmende, sondern beträchtlich kleinere Funkenpotentiale liefert.

Man wird daraus schliessen müssen, dass die Bestätigung der Theorie für homogene Felder nur ein Zufall ist, und dass also auch die Grundannahmen, die Schwedoff von dem Wesen der Funkenentladung macht, wenigstens in der vorliegenden Form nicht gültig sein können.

(Erwähnt sei, dass ein Versuch, die gegenwirkende Reibungskraft als proportional der ersten Potenz der Geschwindigkeit anzusetzen, ebenfalls keine bessere Uebereinstimmung ergab. Auch bei dieser Annahme muss für homogene Felder der Reibungskoeffizient als stark abhängig von der Funkenlänge angenommen werden, und ferner ergeben sich für inhomogene Felder ganz andere Entladungspotentiale als die Messung liefert.)

Immerhin ist es vielleicht nicht ganz überflüssig, zu versuchen, ob sich vielleicht die Schwedoffsche Theorie, die ja qualitativ unleugbar die Tatsachen wiedergibt, noch durch anderweitige Ueberlegungen, wenn auch etwas modifiziert, stützen lässt. In der Tat scheinen einige Erscheinungen dafür zu sprechen. Ich gebe diese Rechnungen jedoch nur unter allem Vorbehalt, mehr um darauf hinzuweisen, als weil ich glaubte, dass damit die volle wahre Erklärung der Tatsachen gegeben sei. Ich neige selbst viel mehr den von J. J. Thomson und J. Stark aufgestellten Erklärungsprinzipien der Funkenentladung zu. Es könnte sehr wohl sein, dass die in folgenden gegebenen Tatsachen rein zufällige Uebereinstimmungen sind, denen gar kein Wert beizulegen ist. Das Ganze soll nur


Minimalspannung in $10^4$ Volt
5
4
3
2
1
$n = 10^7$/sec
$n = 5 \cdot 10^6$/sec
$n = 10^6$/sec und statisch
beob. im diffussen Tageslicht
beob. bei ultravioletter Bestrahlung
berechnet

ein Versuch sein, zu sehen, ob vielleicht die Schwedoffschen Grundgedanken doch einige Berechtigung haben könnten.

Es sei auf zweierlei hingewiesen.

### 1. Das Funkenpotential bei schnellen Schwingungen.

Es seien von den Schwedoffschen Annahme zwei fallen gelassen, nämlich erstens die Annahme, dass die Ionisation durch die vereinigte Wirkung von lebendiger Kraft des Ions und der Feldstärke erfolge und ferner die Annahme einer Reibungskraft. Dagegen sei die Annahme einer beträchtlichen Weglänge beibehalten. Zur Bestimmung der Grösse dieser Weglänge seien die Versuche über Funkenentladung zwischen parallelen Platten herangezogen. Aus den Versuchen von Baille,[1]) Liebig[2]) und Freyberg,[3]) sowie durch Extrapolation aus den Versuchen von Voigt,[4]) Voege,[5]) M. Toepler,[6]) Algermissen[7]) über die Funkenpotentiale bei Kugeln von grossem Durchmesser ergibt sich, dass von einem Plattenabstand von ca. 0,5 cm an die Funkenentladung stets, bei beliebig grosser Funkenlänge, bei derselben Feldstärke erfolgt. Ihr absoluter Wert lässt sich bei der mangelnden Uebereinstimmung der Messungen nicht ganz genau angeben. Er liegt jedenfalls in der Nähe von 100 C. G. S.

Wir wollen dies so deuten, dass diese kritische Länge von ungefähr $^1/_2$ cm die Weglänge eines Ions ist. Nach Durchlaufen dieser Strecke in dem elektrischen Feld von der Stärke 100 C. G. S. pro cm hat dann das Ion die zur Ionisierung erforderliche Geschwindigkeit erlangt. Da es frei

1) J. B. Baille, Ann. de chim. es phys. **25**. p. 486. 1882.
2) G. A. Liebig, Phil. Mag. **24**. p. 106. 1887.
3) J. Freyberg, Wied. Ann. **38**. p. 231. 1889.
4) E. Voigt, Ann. d. Phys. **12**. p. 403. 1906.
5) W. Voege, Ann. d. Phys. **14**. p. 567. 1904.
6) M. Toepler, Ann. d. Phys. **19**. p. 191. 1906.
7) J. Algermissen, Ann. d. Phys. **19**. p. 1007. 1906.

die Strecke von 0,5 cm durchläuft, so ist es dabei von einer Stelle mit dem Potential $V$ zu einer Stelle von Potential $V = 50$ gelangt.

Allerdings ist so nur eine Erklärung für das Verhalten des Funkenpotentials zwischen ebenen Platten für Schlagweiten über 5 mm Länge gegeben.

Zur Erklärung für das Verhalten des Funkenpotentials bei kleineren Funkenlängen müssten wieder neue Hülfshypothesen herangezogen werden.

Quantitative Messungen über das Funkenpotential bei schnellen Schwingungen sind von J. Algermissen [1]) angestellt worden. Es hat sich dabei ergeben, dass das Funkenpotential bei einer Wechselzahl von $10^6/sec$ noch wenig abweicht von demjenigen bei statischer Ladung, dass hingegen bei Wechselzahlen, die wesentlich höher sind als $10^6/sec$, das Funkenpotential für schnelle Schwingungen erheblich grösser ist, als dasjenige, welches für statische Ladung gilt.

Indem wir uns wieder auf Funkenstrecken von über 5 mm Länge beschränken, können wir diese Resultate von Algermissen nach unserer Hypothese so deuten, dass das Ion bei den schnellen Schwingungen, also zeitlich veränderlichen Potentialen, nach Durchlaufen der Wegelänge von 5 mm noch nicht eine so grosse Geschwindigkeit erlangt hat, wie es bekommen hätte, wenn das Potential, also auch die Feldstärke, während der ganzen Zeit seiner Bewegung den zur Anfangszeit gültigen Maximalwert behalten hätte, da bei sehr schnellen Schwingungen vorher schon die Wirkung der rücktreibenden Phase einsetzt.

Soll es doch nach Durchlaufen des Weges von 5,5 mm dieselbe Geschwindigkeit erlangen, die es bekommen würde, wenn es bei statischer Ladung seinen Weg durcheilt hat, so muss das Maximalpotential bei den Schwingungen grösser

---

1) J. Algermissen, Ann. d. Phys. 19. p. 1007. 1906.

sein als das Potential bei statischer Ladung, wie es Algermissen gefunden hat. Diese Ueberlegung gibt nun aber auch quantitativ leidliche Uebereinstimmung mit den Versuchen von Algermissen.

Bei diesen Versuchen war das Potential der isolierten Elektrode gegeben durch $V = V_0 \cos pt$. Es seien Plattenelektroden angenommen, $d$ sei die Funkenlänge, $e$ die Ladung, $m$ die Masse des Ions. Es ist dann

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = e\frac{V_0}{d}\cos pt, \text{ oder wenn } \frac{e}{m}\frac{V_0}{d} = B_0 \text{ ist,}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = B_0 \cos pt; \text{ hieraus, da für } t = 0 \text{ auch } \frac{dx}{dt} = 0:$$

1) $\frac{dx}{dt} = \frac{B_0}{p}\sin qt$, und ferner, da für $t = 0$ auch $x = 0$ ist:

2) . . . . . $x = \frac{B_0}{p^2}(1 - \cos pt)$

Aus 1) und 2) folgt $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = 2B_0x - p^2x^2$

Für $x$ gleich der Weglänge $\lambda$ ($\cong$ 5,0 mm) muss $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$ einen bestimmten kritischen Wert $M$ haben, wenn die Funkenentladung einsetzen soll, d. h.

3) . . . . . $2B_0\lambda - p^2\lambda^2 = M.$

Andererseits gilt für statische Ladung unter leicht verständlicher Bezeichnung $\frac{d^2x}{dt^2} = B_{stat}$ und $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = 2B_{stat}x.$

Für die Funkenentladung muss wieder sein 4) $2B_{stat}\lambda = M$, wo $M$ denselben Wert hat wie in 3). Gleichsetzung von 3) und 4) liefert für $B_0$:

5) . . . . . $B_0 = B_{stat} + \frac{p^2}{2}\lambda$ oder

6) . . . . . $V_0 = V_{stat} + \frac{p^2}{2}\lambda\frac{m}{e}\cdot d$

Ist $n$ die Schwingungszahl in der Sekunde, so ist $p = 2\pi n$. Es wird

7) . . . . . $V_0 = V_{stat} + 2\pi^2 n^2 \lambda \frac{m}{e} d$

Annähernd ist also ($\pi^2 \cong 10$):

$$V_0 = V_{stat} + 20 n^2 \frac{m}{e} d\lambda$$

Hierin setzen wir nach unserer Annahme $\lambda = 0{,}5$ cm; ferner sei, indem wir für $\frac{e}{m}$ die aus der Elektrolyse folgenden Werte benutzen, indem wir also als Ionen einfache Atomionen annehmen, gesetzt $\frac{m}{e} = 55 \cdot 10^{-15}$ im el. stat. Masssystem C. G. S. (Der Wert für $O$ oder $N$.)

Es wird

8) . . . . $V_0 = V_{stat} + 550 \cdot 10^{-15} n^2 \cdot d$

Durch diese Gleichung ist also das Funkenpotential $V_0$ für schnelle Schwingungen von der Schwingungszahl $\frac{n}{sec}$ für die Funkenlänge $d$ gegeben, wenn das Funkenpotential $V_{stat}$ für dieselbe Funkenlänge $d$ bei statischer Ladung bekannt ist.

Diese Beziehung 8) werde nun an den Resultaten von Algermissen geprüft.

Da sie streng nur für homogene Felder gilt, so ist sie nur zu vergleichen mit den an Kugeln von 2,5 cm ausgeführten Messungen.

Hier besteht nun eine leidliche Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung. Zunächst sieht man, dass für Schwingungen bis zu $n = 10^6/sec$ $V_0$ von $V_{stat}$ nicht merklich verschieden ist, d. h. das Entladungspotential für schnelle Schwingungen nicht merklich verschieden ist von demjenigen für statische Ladung. Für $n = 10^6/sec$ und $d = 1$ wird

$V_0 - V_{stat} = 0{,}55$ el. stat. C. G. S. $=$ 165 Volt. Dieser Unterschied der beiden Spannungen ist also nur unbedeutend gegenüber dem Wert von $V_{stat}$ selbst, der ca. $V_{stat} = 31\,800$ Volt beträgt, also wenig über $^1/_2\,\%$, mithin kaum messbar. In der Tat hat nun aber Algermissen festgestellt, dass sich bis zu einer Schwingungszahl von $n = 10^6/sec$ das statische Entladungspotential nicht von demjenigen für Schwingungen unterscheidet.

Für Schwingungen, die schneller sind als $10^6/sec$ wächst nun aber nach 8) die Differenz $V_0 - V_{stat}$ sehr schnell mit zunehmender Frequenz auf merkliche Werte, ganz wie es nach den Beobachtungen von Algermissen tatsächlich der Fall ist. Die numerische Uebereinstimmung ist in Anbetracht der Schwierigkeit der Messungen wohl befriedigend.

In Fig. 2 sind die Entladungspotentiale nach den Beobachtungen von Algermissen und die aus der Berechnung nach 8) sich ergebenden eingetragen. Selbstverständlich beginnt der Gültigkeitsbereich der Formel 8) erst bei 0,5 mm Funkenlänge.

Mit wachsender Schwingungszahl $n$ müsste $V_0 - V'$ sehr schnell steigen.

Das Prinzip der gegebenen Erklärung würde natürlich auch gelten, wenn man mit J. J. Thomson und J. Stark auch Ionenstoss, aber nur sehr kleine freie Weglängen annimmt.

## 2. Das Funkenpotential bei übergrosen Funkenstrecken.

Eine zweite Bestätigung der Hypothese, dass die Funkenentladung (für Funkenstrecken über 5 mm) immer dann einsetzt, wenn die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten der Funkenstrecke, deren Abstand ca. 5 mm beträgt, auf ca. 16 000 Volt gestiegen ist, scheint mir aus den Ergeb-

nissen von ganz neuerdings von Herrn C. Müller[1]) veröffentlichte Messungen über das Funkenpotential zu folgen. Nach diesen Versuchen nähert sich nämlich das Funkenpotential zwischen kugelförmigen Elektroden mit steigender Funkenlänge asymptotisch einem Grenzwert, der um so grösser ist, je grösser der Radius der Kugeln ist. Die Versuche sind gemacht an Kugeln von 1 cm und 2,5 cm Radius. Für Kugeln von 0,25 cm Radius hat bereits Heydweiller[2]) ein derartiges Verhalten nachgewiesen. Zunächst folgt dieses Verhalten qualitativ aus der aufgestellten Hypothese. Je grösser nämlich die Entfernung der beiden Kugeln von einander ist, um so weniger wird der Verlauf der Kraftlinien um die eine Kugel von der Anwesenheit der anderen modifiziert, er nähert sich immer denjenigen einer einzigen geladenen Kugel.

Die Entladung setzt dann ein, sobald die Potentialdifferenz zwischen der Kugeloberfläche und einem um $b = 5$ mm davon nach aussen entfernten Punkt den Wert $B = 16\,000$ Volt erreicht hat. Bei Einsetzung dieser Werte erhält man nun aber mit hinreichender Genauigkeit die von Heydweiller und Müller experimentell gefundenen Funkenpotentiale.

Ist nämlich die Abstand der beiden Kugeln von einander so gross geworden, dass man das Potential um die isolierte Kugel herum so berechnen kann, als wäre sie allein vorhanden, so ist, wenn $e$ die Ladung der Kugel ist, die Entladungsbedingung gegeben durch

$$\frac{e}{r} - \frac{e}{r+b} = B, \text{ oder } \frac{e}{r} = B\frac{r+b}{b}. \quad B\frac{r+b}{r} = V_0$$

ist also das Entladungspotential.

---

1) C. Müller, Inaug. Diss. Berlin 1908.

2) Heydweiller.

Mit den angegebenen Werten, $B = 16\,000$ Volt, $b = 5$ mm gibt dies

| Berechnet | Gefunden |
|---|---|
| $r = 0{,}25$ cm $V_0 = 24\,000$ Volt | 25 000 Volt nach Heydweiller |
| $r = 1$ cm $V_0 = 48\,000$ Volt | 52 000 Volt nach Müller |
| $r = 2{,}5$ cm $V_0 = 96\,000$ Volt | ca. 100 000 Volt nach Müller |

Die Uebereinstimmung ist so gut, als man es wohl bei der Schwierigkeit der Messungen und der nicht völligen Sicherheit der Werte von $B$ und $b$ verlangen kann.

---

Nachtrag bei der Korrektur:

Inzwischen hat M. Toepler[1]), wahrscheinlich gemacht, dass die von Müller erhaltenen Werte der Funkenpotentiale keine allgemeine Gültigkeit haben, sondern nur den ganz speziellen Versuchsbedingungen angehören, die bei den Versuchen von C. Müller vorlagen. Es würde hiermit natürlich auch die hier angestellte Überlegung hinfällig werden.

1) M. Toepler, Ann. d. Phys. **29**, 153. 1909.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 4 Mai 1909

In der Sitzung vom 12. Mai hielt Herr Vogt (als Gast) den Vortrag:

### Ueber rückschreitende Veränderungen von Kernen und Zellen junger Entwicklungsstadien von Triton cristatus.

(Vorläufige Mitteilung.)

Es handelt sich bei der gegenwärtigen Mitteilung um Zelldegenerationen in jungen Embryonen des einheimischen Kammmolches, und zwar um die Erscheinungen des Zerfalls und der darauf folgenden Auflösung von Plasma und Kern an zahlreichen Zellen eines in den Einzelstadien meist wohl begrenzten Zellbezirkes. Der Befund ist, soweit Literatur zugänglich war, für diese Entwicklungsstadien bisher kaum erwähnt, und ich darf daher auf eine Besprechung der nur auf Einzelfragen bezüglichen Arbeiten an dieser Stelle verzichten.

Da im allgemeinen die von den rückschreitenden Veränderungen ergriffenen Zellen geschlossene Bezirke bilden, die im Verlauf der Ontogenese ganz bestimmte Entwicklungsphasen durchmachen, so will ich den Einzelbeobachtungen über die Vorgänge beim Zerfall eine Uebersicht voraus-

schicken über die örtliche und zeitliche Anordnung der degenerierenden Zellen in den einzelnen Entwicklungszuständen.

## I.

Das Stadium, welches dem ersten Auftreten von Degenerationen unmittelbar vorausgeht, ist die fertig ausgebildete Blastula. Sie ist das Produkt der ersten Entwicklungsperiode des Eies, welche lediglich in einer Zerkleinerung des vorhandenen Materials besteht, durch fortgesetzte Zellteilungen ohne Wachstum. — Im Gegensatz zu anderen Beobachtungen wird nach unseren Schnittserien stets das ganze Ei-Material in Zellen zerlegt, wie das bei einem Holoblastier zu erwarten ist, niemals entstehen „ungefurchte" kernlose Stücken des Dotters neben den Dotterzellen. — Die Blastula stellt einen kugligen Haufen von Zellen sehr verschiedener Grösse dar, der im Innern die excentrisch nach oben gelegene Furchungshöhle enthält; um diese sind die Zellen in bekannter Weise angeordnet: Die grösseren mit Dotterplättchen überladenen Zellen bilden die untere Halbkugel, auf der die Furchungshöhle mit ihrem kleinzelligen Dach als obere Halbkugel aufliegt. Und zwar erhebt sich auf dem Rande der unteren, der Dotter-Halbkugel, also im Aequator des Eies zunächst ein breiter Ring aus mehreren Lagen mittelgrosser Zellen, der sich erst allmählich nach oben verjüngt in das kleinzellige, dünne, im Mittelstück sogar einreihige Dach der Furchungshöhle. Es ist somit die Furchungshöhle begrenzt seitlich von dem erwähnten prismatischen Ring mittelgrosser Zellen, der „Uebergangszone", aus welcher der Urmund entsteht, oben von dem bereits vor der Urdarmbildung sehr dünnen kleinzelligen Dach, einem Teil des späteren Ectoderms, unten von Dotterzellen; — und diese innersten Lagen des Dotterzellenkomplexes, die den Boden der Furchungshöhle bilden, sind der Entstehungsort der ersten Zelldegenerationen. Vorläufig, also ehe die Urdarm-

bildung begonnen hat, sind an ihnen kaum irgend welche Anzeichen der kommenden Degeneration zu beobachten; das, was sie allerdings bereits wesentlich vor den anderen Zellen auszeichnet, ist eine starke Auflockerung ihres ganzen Bezirkes; während die Randschichten des Dotterzellenkomplexes fest zusammengefügt sind, ähnlich wie die epithelartig geschlossenen Reihen der Uebergangszone und des Daches, lassen die mittleren Dotterzellen bereits grössere Intercellularen zwischen ihren Berührungsstellen, und jene innersten Lagen sind so weit gelockert, dass die einzelnen Zellen sich überhaupt nicht mehr berühren, sondern frei, kuglig abgerundet im unteren Teil der Furchungshöhle liegen, eine Lagerungsweise, die später, nach beendeter Urdarmbildung, nur noch degenerierenden Zellen zukommt. Ausserdem sind an den Rändern und in den Intercellularen dieser lockeren Zellen auffällig besonders reichliche Niederschläge aus der Füllflüssigkeit, in Form feiner Fäden und Körner von schwacher chromatischer Färbbarkeit. Deutlichere Vorbereitungserscheinungen waren nicht nachweisbar.

Die auf das Blastulastadium unmittelbar folgende Entwicklungsperiode, die Urdarmbildung, geht Hand in Hand mit einer umfangreichen Degeneration des beschriebenen Bezirkes; an der Stelle, an der in der Blastula die lockeren Dotterzellen isoliert, aber mit durchaus normalem Kern und Plasma lagen, finden sich in sämtlichen Serien mit begonnener Urdarmbildung (Fig. 1) zahlreiche verkleinerte Zellen mit allen nachher zu erwähnenden Zeichen des Zerfalls; und zwar setzt die Degeneration offenbar plötzlich ein und ziemlich regelmässig genau mit dem Beginn der Urdarmbildung. Es zeigt selten der ganze Boden der Furchungshöhle die degenerierenden Zellen, manchmal ist ausschliesslich, stets wenigstens in höherem Grade der Teil dieser Schicht betroffen, der dem Urdarm zunächst liegt. Die Lagebeziehung der veränderten zu den normalen Dotterzellen ist verschieden: sie liegen entweder zwischen normalen derselben

lockeren Schicht verstreut, oder sie sind deutlich aus dem allgemeinen Dotterverband ausgeschieden, indem sich dieser durch eine dicht geschlossene Zellreihe gegen sie abgrenzt; sie schwimmen dann also frei in der deutlich begrenzten Furchungshöhle und können so von der Füllflüssigkeit in die der Furchungshöhle benachbarten Intercellularen sekundär verlagert werden.

Im ganzen bleibt der plötzlich veränderte Bezirk vom Beginn der Urdarmbildung bis zum Verschwinden der Furchungshöhle ziemlich gleichförmig bestehen; er nimmt, wenn überhaupt, nur wenig an Umfang zu, doch folgt er natürlich den bedeutenden Verschiebungen im Embryo, die das allmähliche Vordringen des Urdarms mit sich bringt. Ein Vergleich von Fig. 1 und Fig. 2 zeigt, in welcher Weise das Degenerationsgebiet verlagert wird: der Urdarmzipfel schiebt sich dicht unter dem dorsalen Ectoderm entlang kranialwärts und verdrängt, indem er sich aufweitet, die Furchungshöhle; dadurch werden die lockeren Zelllagen des Bodens ventralwärts, allmählich fast bis an den Blastoporus herangeschoben und die bisher verstreut gelegenen degenerierenden Zellen zu einer dichteren Schicht zusammengedrängt, zum Teil wohl auch zwischen die normalen Dotterzellen spec. zwischen die den Kopfdarm begrenzenden Entodermzellen verlagert.

Im Anschluss an diese Vorgänge, also etwa von der ersten Anlegung der Medullarwülste an, wird die Anordnung der Degenerationen unregelmässiger; in einigen Serien sind nur noch Reste einer der bisherigen Darstellung entsprechenden früheren Degeneration zu finden; in anderen behält der Bezirk seinen alten Umfang bei, in den meisten nimmt er bedeutend an Umfang zu; ausserdem kommen in einigen neue Degenerationsbezirke zu stande von bisher noch wenig erkannter Entwicklungsweise. Ziemlich allgemein, aber eben unregelmässig, ist bis auf weiteres mit Degenerationen durch-

setzt: einmal der Dotterabschnitt, der ventral zwischen Kopfdarmzipfel und Blastoporus liegt, und zwar so, dass am vollständigsten und am häufigsten degeneriert die Partie, die dem Ectoderm der Bauchseite unmittelbar oder nur durch Mesoderm getrennt anliegt; erst bei umfangreichen Degenerationen sind die Dotterzellen der Mitte oder noch weiter dorsalwärts mit ergriffen; und 2. die Zellschichten, die den Kopfdarm umschliessen, in der Weise, dass häufig selbst die den Darm auskleidenden Entodermzellen angegriffen sind (in letzterem Falle sind selten zusammenhängende Stücke der Darmwand in Degeneration, meist liegen dann nur verstreute degenerierende Zellen zwischen normalen Entodermzellen.) Diese beiden Partieen gehen natürlich in einander über, wenn sie sich gleichzeitig in Degeneration befinden; sie werden hier nur getrennt, weil sie ab und zu auch einzeln betroffen sind oder sehr häufig ein Teil mehr als der andere. Die kranialen Degenerationen umgreifen den Kopfdarm, sodass oft (namentlich in den späteren Stadien des Kopfdarmdivertikels) das Dach desselben — also die unter der Hirnanlage liegende Schicht von Dotterentoblastzellen beteiligt ist.

Diese Lokalisierung der Degenerationen gilt bis in späte Stadien, zum Teil noch für Embryonen, die bereits gestreckt und nicht weit vom Ausschlüpfen sind. Es liegt also, soweit dem Dotterzellenkomplex zugehörige Elemente von der Degeneration betroffen sind, ein ziemlich einheitliches Prinzip in ihrer Anordnung, denn die beiden beschriebenen Stellen späterer Stadien entsprechen durchaus den ersten Anfängen.

Doch kommen, wie schon angedeutet, neben dieser häufigsten Anordnung in wenigen Serien höchst seltsam gelegene oft sehr bedeutende Degenerationsbezirke vor, so besonders asymmetrische Herde im Dotter: z. B. ist etwa eine ganze Seite des Dotterzellkomplexes erfüllt von zerstreuten Degenerationen, während die andere völlig frei ist; bei solchen können die Degenerationen auch, offenbar sekundär, auf

Nachbargebiete übergreifen, z. B. auf das anliegende Mesoderm, sodass der Gedanke an pathologische Vorgänge nicht fern liegt.

Sicherlich normalerweise finden sich Degenerationen bei der Bildung der Hirnanlage und seiner zugehörigen Teile (Augenblase) und zwar vielfach im Lumen abgefalteter Organe: so im Lumen der Hirnanlage selbst, des Medullarrohres und der Augenblase.

Die ganze Medullaranlage ist ein bevorzugter Ort für Degenerationen, die aber sehr wechseln, oft umfangreich, oft ganz fehlend, manchmal asymmetrisch, ab und zu auch nur einen umschriebenen Zerfallsherd bildend.

Sehr eigenartig, aber in späteren Stadien nicht selten, ist die Lokalisierung degenerierender Zellen im Inneren des Darmlumens und zwar spez. des Kopfdarms, hervorgerufen offenbar durch Ausstossung degenerierender Zellen, die zwischen oder dicht unter der Darmauskleidenden Zellschicht gelegen haben.

Ich habe diese noch nicht ganz übersehbarer Degenerationen späterer Stadien der Vollständigkeit halber mit angeführt, um den ungefähren weiteren Verlauf der degenerativen Vorgänge bei der Entwicklung von Tr. crist. zu zeigen; das Ende der Vorgänge ist nicht abzusehen: die Degenerationen des Dotterkomplexes gehen offenbar direkt über in die umfangreichen Zerfallsvorgänge bei der Umbildung des Dotterdarmes zum epithelialen Darm der ausgeschlüpften Larve.

## II.

Die Veränderungen, welche die in ihrer Anordnung beschriebenen Zellen als degenerierende kennzeichnen, spielen sich an Kern und Plasma ab; die am Kern sind kompliziert, aber ganz unzweifelhaft rückschreitend, die des Plasma sind einfacher, würden aber ohne die Kernveränderungen nicht ohne weiteres als degenerativ erkennbar sein. Ich beginne daher mit den entscheidenden Veränderungen am Kern.

Man unterscheidet im allgemeinen nach den vorliegenden pathologisch-anatomischen Arbeiten zwei Formen des Kernuntergangs, die sehr allgemein verbreitete Karyolyse und die seltenere Karyorrhexis (nach Klebs und späteren Aut.), beides Benennungen, die sich auf das Verhalten der chromatischen Substanzen bei dem Kernuntergang beziehen sollen. Karyolyse bezeichnet ein „Auflösen und Auslaugen" des Chromatins, welches sich mikroskopisch zunächst in einer Diffusfärbung, dann in allmählichem Abblassen bis zu völligem Verlust der Färbbarkeit zu erkennen gibt. Karyorrhexis bezeichnet eigentümliche Umlagerungen der chromatischen Substanz bei erhaltener Färbbarkeit, die zu Verklumpung, Sprossungen und Zersplitterungen der betreffenden Kerne führen. Von Schmaus wurde dann nachgewiesen, dass es sich nicht um zwei scharf geschiedene Formen des Untergangs handelt, sondern dass diese beiden Vorgänge stets gleichzeitig bei der Kernzerstörung beteiligt sind, dass aber gewöhnlich der erstere den zweiten verdeckt, indem es durch umgebende Körperflüssigkeiten bereits zu einer Auslaugung der Chromatine kommt, ehe noch die Abbauvorgänge im Kern einsetzen, die natürlich nur bei erhaltenem Chromatin färberisch nachweisbar sind.

Hiernach hätte man es bei den vorliegenden Degenerationen bei Tr. crist. um den seltenen Fall einer fast reinen Karyorrhexis zu tun, denn das, was die hier degenerierenden Kerne auszeichnet, sind weitgehende Chromatinumlagerungen mit folgendem völligen Zerfall des Kerns, ohne ein nachweisbares Schwinden der Färbbarkeit. Nach Schmaus's Ueberlegungen wären dies bei dem vorliegenden Objekt durchaus verständlich, da man in jungen Embryonen von Holoblastiern keine bedeutenden Flüssigkeitsströmungen annehmen wird, die etwa eine auslaugende Wirkung auf tote Zellen ausüben könnten; zudem ist der Kern hier bei der Grösse der Dotterzellen durch den dicken Plasmamantel noch besonders geschützt.

Die angedeuteten Umlagerungen der chromatischen Substanzen drücken sich darin aus, dass die mit Boraxkarmin rot tingierten Massen nicht wie bei den normalen Kernen in feinkörnigen Fäden angeordnet sind, sondern in Form homogener Tropfen; in den normalen im Ruhezustand (Fig. 3) stellt das Chromatin in zahllosen feinen Körnern den Kontur eines feinmaschigen Netz- oder Fadenwerkes dar — bei den degenerierenden (Fig. 4—6) liegt es in einzelnen grösseren Tropfen oder Ballen, die den übrigen Bezirk innerhalb des Kernkontur als völlig ungefärbte Zwischensubstanz freilassen. Als Tropfen sind sie dadurch gekennzeichnet, dass sie der Kernwand anliegend sich halbmondförmig dicht an deren Kontur anschliessen, während sie frei liegend stets exakt kuglig geformt sind mit den typischen Lichtbrechungserscheinungen eines homogenen Tropfens.

Es ergibt sich nun je nach Zahl, Grösse, Anordnungsweise der Tropfen, nach dem Vorhandensein oder Fehlen der Kernwand, nach den Lagebeziehungen zu den Zellen u. a. eine so überwältigende Mannigfaltigkeit der Kernbilder, dass man nur durch grobe Schematisierung eine kurze Uebersicht über die einzelnen Formen, insbesondere auch über die Stadien einer einzelnen Zerfallsreihe gewinnen hann. Als Haupttypen lassen sich unterscheiden und offenbar auch von einander ableiten:

1. (Fig. 4.) Kerne mit deutlichem Kontur und darin sehr zahlreichen kleineren und grösseren Tröpfchen, die selten noch durch Reste normaler chromatischer Strukturen verbunden sind; die Tröpfchen haben zum grösseren Teil keine Beziehung zur Kernwand, sondern liegen anscheinend frei im Innern, wohl an die Reste eines achromatischen Gerüstes angelehnt; sie stehen den normalen Dotterzellkernen am nächsten und stellen offenbar Anfangsstadien dar, kommen aber nur in Dotterzelldegenerationen vor;

2. (Fig. 5) weitaus die häufigste Form: deutliche Kernwand mit wenigen, oft nur einem grösseren Tropfen, die meist

dem Kontur dicht anliegen, ab und zu auch noch kleinste Tröpfchen verstreut im Innern; zu diesen Tröpfchenringen gehören die Mehrzahl der in Hirn und Medullaranlage degenerierenden Kerne, welche fast stets als zwei einander gegenüberliegende, halbmondförmige Tröpfchen erscheinen; (niemals kommen in Hirn- und Medullaranlage Kerne vom 1. Typus vor, sondern immer nur Typus 2 und 4, was sich wohl daraus erklärt, dass ein normaler Kern der Hirnanlage sehr kompakt und nicht gross ist, sodass die Chromatinkörnchen aufs dichteste beiander liegen; daher entstehen beim Zusammenfliessen mit Uebergehung der komplizierten Figuren vom Typus 1 sehr bald wenige grössere Tropfen, also besonders eben die beschriebene Form von Fig. 5c;)

3. ein sehr verbreitetes Stadium (Fig. 6) zeigt Kernreste, die aber noch innerhalb der Zellen liegen, entweder noch nahe beieinander aber ohne vereinigenden Kernkontur, oder verstreut in der Zelle; es lassen sich hier leicht alle Stadien von einem eben platzenden bis zum völlig zersprengten Kern finden; eine besonders häufige Form, die hierher gehört stellen die einzelnen grossen Tropfen dar, die als einziger Rest in der zugehörigen Zelle liegen (Fig. 6b);

4. als Endstadien kommen dann besonders in älteren Embryonen vor Kernreste, also besonders wieder die vereinzelten grossen Tropfen, die nicht mehr in Zellen, sondern isoliert liegen in Intercellularen, in Körperhöhlen oder selten auch in normale Zellen eingelagert. Erst bei diesen letzteren, Stadien wird eine Änderung der Färbbarkeit nachweisbar, die sich darin ausdrückt, dass ausser der Kernfarbe auch Plasmafarbe aufgenommen wird; es entstehen dann eigentümliche dunkle Mischfarben, z. B. bei Anwendung von Hämatoxylin und Eosin ein tiefes Braun.

Das Prinzip dieser Zerfallsreihe scheint also darin zu liegen, dass die feinen Chromatinkörner zu grösseren und immer weniger zahlreichen Tropfen zusammenfliessen, wobei die

achromatischen Substanzen allmählich gelöst werden, sodass nach Schwund der Kernwand nur noch chromatische Reste erkennbar sind.

Unter diese beschriebenen häufigsten Formen lassen sich keineswegs alle vorkommenden einordnen; es gibt offenbar verschiedene Wege des Zerfalls und demgemäss auch verschiedene Reihen aufeinanderfolgender Zerfallsstadien. Ich erwähne nur noch, dass bedeutende Vakuolenbildung im Kern sehr häufig den Gang des Zerfalls beeinflusst; die betroffenen Kerne werden zu grossen Blasen aufgetrieben, um die die chromatischen Teile als feine Körnchen herumliegen; sie werden bei dieser Degenerationsform durch die gewaltige Kernvergrösserung am Zusammenfliessen verhindert und es entstehen keine grössere Tropfen; es endigen diese Kerne wahrscheinlich auch durch Platzen.

Die Veränderungen im Plasma sind am auffälligsten an den grossen Dotterplättchen zu beobachten; während die der normalen Zellen (bei geeigneter Schnittdicke und starker Färbung) aus einer fast ungefärbten, durchsichtigen Zwischensubstanz selbst stark gefärbt herausleuchten (Fig. 3), ist das Plasma degenerierender Zellen ziemlich homogen gefärbt; es lassen sich zwar meist noch Konturen von Dotterplättchen erkennen, doch sind diese zum grössten Teil stark verkleinert, meist länglich, stäbchenförmig, und liegen, schwer zu unterscheiden dicht zusammengedrängt (Fig. 5a). Das ganze Bild macht den Eindruck, als wären die Dotterplättchen zersprengt und ihre kleinen Teilstücke nach Verlust der durchsichtigen Zwischensubstanz zu einem dichteren, ziemlich gleichförmigen Brei zusammengesunken. Dieser Eindruck eines Substanzverlustes wird erhöht durch die Kleinheit der betreffenden Zellen; während die Kerne trotz stärkster Veränderungen, solange ihre Kernwand erhalten ist, meist ihre alte Grösse bewahren, sind alle zugehörigen Zellen stark verkleinert (abgesehen von den Anfangsstadien, da die Kernveränderungen eher beginnen, als die des Plasma). Die Ver-

kleinerung nimmt bei fortschreitender Kernveränderung zu, sodass schliesslich nur noch Kernreste mit einem feingekörnten, schleierhaften Plasmabezirk übrig bleiben (Fig. 6 c); dabei bleibt aber auffällig lange der scharfe, exakt kreisförmige Kontur der Zellen bestehen, der bei veränderten meist viel deutlicher ist als bei normalen Dotterzellen.

Der Ablauf der Plasmaveränderungen lässt also mit Sicherheit darauf schliessen, dass die Plasmabestandteile allmählich von der umgebenden Flüssigkeit aufgelöst werden, die Dotterplättchen erst nach einem vorangehenden Zerfall in kleine Teilstücke. Dementsprechend zeigt auch die Flüssigkeit in den Körperhöhlen des Embryo meist deutliche Eiweissreste, die bei der fixierenden Fällung Trübung ergeben und in den Präparaten als feine Schleier und Körnchen erkennbar sind.

Die erwähnte Verkleinerung der degenerierenden Zellen, die den Degenerationsbezirken ein höchst charakteristisches, auffälliges Aussehen gibt (Fig. 1 u. 2), kommt noch auf einem anderen Wege zustande als durch Plasmaauflösung, nämlich durch eigentümliche, nicht leicht verfolgbare Vorgänge direkter Teilung. Es finden sich in den Degenerationsbezirken ab und zu zweikernige Zellen, und zwar sind Plasma und Kerne gewöhnlich in rückschreitender Veränderung, von den ersten Anfängen bis zu den Spätstadien genau übereinstimmend mit den einkernigen Zellen (Fig. 4b). Eine indirekte Teilung kann, wenigstens bei unserem Objekt, niemals zur Bildung zweikerniger Zellen führen, also muss nach deren Vorkommen eine direkte Kernzerschnürung angenommen werden, selbst wenn sich nicht alle Stadien dieses Vorgangs finden lassen; dass diese direkte Kernteilung stets auch die Zellteilung zur Folge hat, scheint unwahrscheinlich — sicherlich kann sie dazu führen; das zeigt der häufige Befund zweier völlig gleich aussehender, degenerierender Zellen, die mit den randständigen Kernen einander zugewendet sind: offenbar Produkte einer eben abgelaufenen direkten Zellteilung. Weit häufiger aber, als diese Teilung von Kern

und Zelle ist eine andere Form direkter Teilung, nämlich die Abschnürung kernloser Plasmakugeln von im Plasma bereits stark veränderten Zellen; sie spielt sicher die Hauptrolle bei der Verkleinerung der degenerierenden Elemente. — Dieses reichliche Vorkommen direkter Fragmentierung erklärt vielleicht die sehr auffällige Randstellung fast aller degenerierender Kerne in kleinen Zellen.

Ich schliesse diese kurze Übersicht über die mannigfaltigen morphologischen Erscheinungen der Degeneration, ohne auf ihre Physiologie einzugehen: die auch bei der kürzesten Darstellung sich aufdrängenden Fragen, ob es sich, z. B. bei dem Zusammenfliessen der chromatischen Substanzen, um reine mechanische Vorgänge oder, z. B. bei den Erscheinungen direkter Teilung, um Lebensäusserungen der betr. Zellen handelt, wann und in welchen Zellteilen der Tod einsetzt u. a. m., sind nur aus weit umfangreicheren Einzelangaben zu entscheiden.

## III.

Für die Beurteilung der allgemeinen Bedeutung der Degenerationen für die Entwicklung von Triton muss vor allem die Zugehörigkeit dieser Vorgänge zur normalen Entwicklung sicher gestellt sein; der Gedanke an Missbildung oder pathologische Zustände liegt bei der Grossartigkeit der Erscheinung in einzelnen Fällen nahe, darf aber sicherlich ausgeschaltet werden: denn das Material, das dieser Untersuchung zu Grunde liegt, stammt aus verschiedenen Jahren, aus verschiedenen Tümpeln, ist teils gezüchtet, teils unmittelbar draussen am Fundort konserviert und hat trotz dieser ausdrücklichen Variierung der Bedingungen keine erkennbaren Verschiedenheiten in den beschriebenen Erscheinungen ergeben. Demnach handelt es sich um Vorgänge, die der normalen Entwicklung von Triton cristatus zugehören und die Frage nach ihrer Bedeutung,

spez. ihrem physiologischen Wert für die Entwicklung ist berechtigt.

Zu ihrer Erörterung scheint es notwendig, eine Gruppierung der im ersten Kapitel erwähnten Degenerationsbezirke vorzunehmen: die einzelnen, unregelmässigen Degenerationen der späteren Stadien, besonders die der Hirnanlage und ihrer Anhangsorgane, spielen offenbar eine ganz andere Rolle, als die gleichmässigen von der Gastrulation bis zum Ausschlüpfen der Larve sich abspielenden Degenerationen im Dotterzellkomplex. Hauptfrage wird ja bei allen normalen Degenerationsvorgängen in Embryonen immer sein: sind die Degenerationen Entwicklungsfaktor, oder sind sie Abfälle bei Entwicklungsvorgängen, und diese Frage scheidet, glaube ich, bereits die beiden Gruppen: die späteren bei Abfaltung von Organen unregelmässig auftretenden Degenerationen machen tatsächlich den Eindruck von Abfällen der Entwicklung, indem sie bei eingreifenden Verlagerungen grösserer Zellmassen entstehen, Verlagerungen, die leicht rein mechanisch durch Ausstossen oder durch Druck ein Zugrundegehen vieler Zellen verursachen können. (Solche Degenerationen spez. bei der Entwicklung der Augenblase sind bei verschiedenen Embryonen bereits beschrieben und zum Teil in diesem Sinne gedeutet worden.) Ihr Fehlen in einzelnen Fällen deutet an, dass es eine normale Entstehung der betreffenden Organe auch ohne sie gibt, dass sie nicht notwendig für die Entwicklung sind.

Das ist ganz anders bei den umfangreichen Degenerationen im Dotterkomplex; eine Eigenschaft scheint sie allerdings auch der vorigen Deutung zugänglich zu machen: sie beginnen bei der ersten Verlagerung des gesamten Dotterzellkomplexes, bei der Urdarmbildung, und zeigen gerade zu diesem Entwicklungsvorgang innige Beziehungen; aber sie überdauern ihn eben, sie setzen sich gleichmässig fort, wenn längst diese Verlagerungen zur Ruhe gekommen sind und der Dotterzellkomplex als gänzlich unbewegte Masse kaum

mehr Druckänderungen oder anderen mechanischen Schädlichkeiten unterliegt. Hier tritt also der Gedanke, dass es sich um einen Entwicklungsfaktor handle in den Vordergrund. Welche aktive Rolle es nun ist, die man den Degenerationen zuschreiben kann, darauf weist ihr Schicksal hin: sie werden zu einer eiweissreichen Flüssigkeit aufgelöst, die offenbar eine Nährflüssigkeit für den Embryo darstellt. Der Bestimmung der Dotterzellen entspricht dieses Schicksal durchaus: Der Dotterentoblast hat einmal den späteren epithelialen Darm zu bilden, und er muss das in seinen Zellen aufgespeicherte Nährmaterial der Dotterplättchen dem wachsenden Embryo zugänglich machen; da nun der epitheliale Darm zu seiner Entstehung nicht annähernd aller vorhandenen Dotterentoblastzellen bedarf (s. Alytes u. Rana), so können ohne Schaden zahlreiche Dotterzellen zu Grunde gehen, und gerade dadurch ihre Bestimmung erfüllen: sie werden aufgelöst, um anderen Embryonalzellen als Nährmaterial zu dienen.

Dass nun auch tatsächlich das Bedürfnis nach Nährmaterial in anderen Teilen des Embryo besteht, dafür will ich eine Beobachtung anführen: gerade in dem Augenblick, in dem die ersten Degenerationen beginnen, hat das bereits stark verdünnte und an Nährmaterial verarmte Dach der Furchungshöhle die ausserordentliche Leistung auszuführen, aus seinen Zellen den wulstigen, viel Material verschlingenden Urmund zu bilden, und zwar nicht einmal, sondern fortwährend neu zu bilden, da ja das Material des Urmunds bei der Urdarmbildung immer wieder gebraucht wird; das kann nur geschehen, wenn die Zellen des Daches, also die späteren Ectodermzellen, wachsen — wachsen auf Kosten irgend einer von innen gereichten Nährsubstanz, die eben möglicherweise von den degenerierenden Zellen geliefert wird. Und dass die Ectodermzellen tatsächlich wachsen, lässt sich leicht erkennen: die Teilungsfiguren ihres Bezirks sind zahllos, während ihr Umfang nicht mehr beträchtlich abnimmt.

So hat also die Auffassung, dass die Zelldegenerationen eine Form der Dottereinschmelzung zum Zweck der Resorption darstellen, viele Gründe für sich; sie wäre erwiesen, wenn nicht während der gesamten Embryonalentwicklung von Triton cristatus noch eine andere Form der Dotterresorption vorkäme, die vermutlich bei Holoblastiern ohne Degenerationen die vorherrschende oder einzige ist: sie besteht in einer Übertragung der Dotterplättchen von Zelle zu Zelle (auf die Einzelheiten will ich in späteren Ausführungen zurückkommen); doch es wird hierdurch höchstens die Notwendigkeit, keineswegs die Wahrscheinlichkeit der dargelegten Auffassung eingeschränkt.

Dass noch eine solche Unsicherheit in der allgemeinen Deutung der beschriebenen Erscheinungen besteht, liegt zum Teil daran, dass es sich noch nicht übersehen lässt, wie weit eigentlich die Degenerationen — zunächst einmal unter den Amphibien — verbreitet sind. Triton alpestris habe ich bereits in einer grösseren Anzahl von Serien untersucht und gefunden, dass bei ihm die Degenerationen vorhanden sind, aber etwas weniger umfangreich als bei cristatus, und mit einigen Modifikationen: es ist z. B. bei ihm das Plasma degenerierender Zellen häufig stark pigmentiert, was sie leicht erkennbar macht.

Diese an Tr. cristatus und alpestris begonnenen Untersuchungen gedenke ich daher fortzusetzen und auf andere Amphibien auszudehnen, um dadurch vielleicht der allgemeinen Bedeutung der Degenerationsvorgänge näher zu kommen.

## Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1 u. 2: Uebersichtsbilder über die Anordnung der Degenerationen während der Urdarmbildung. (Degenerationsbezirk = DB, degenerierende Zellen dunkler gezeichnet.)

1. Medianer Längsschnitt durch eine eben sich anlegende Gastrula.
2. Medianer Längsschnitt durch eine ausgebildete Gastrula.

Fig. 3: Normale Dotterzelle.

Fig. 4–6: Degenerierende Kerne u. Zellen.

4. Kerne im Anfang der Degeneration. Das zugehörige Plasma war normal (wie in Fig. 3).
   a) einzelner Kern.
   b) Kern in direkter Teilung.
5. Mittelstadien der Degeneration.
   a) Dotterzelle mit verändertem und vermindertem Plasma; Kern: wenige randständige Chromatintropfen.
   b) Dotterzelle wie in a; Kern: mittelständige Chromatintropfen.
   c) Aus Hirnanlagen-Degeneration.
6. a—c. Spätstadien der Degeneration: Kernkontur verschwunden, Plasma stark verändert und vermindert.

Die Figuren sind mit Abbe'schem Zeichenapparat gezeichnet, Fig. 1 und 2 bei 39facher, Fig. 3—6 bei 555facher Vergrösserung.

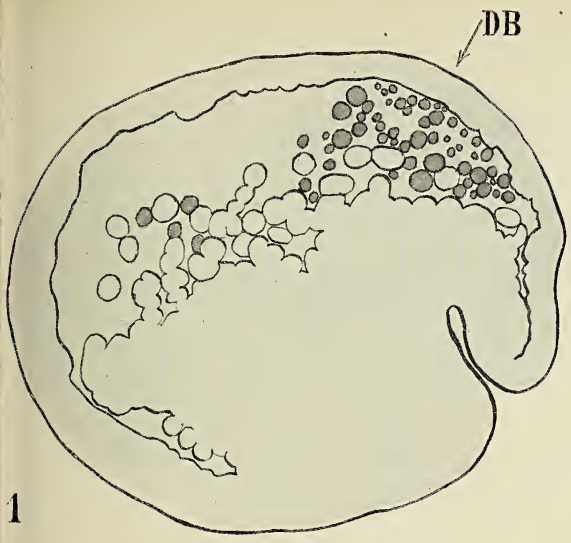


fig. 4

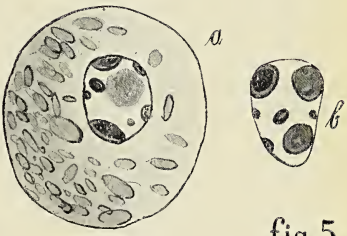
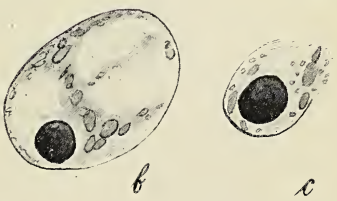
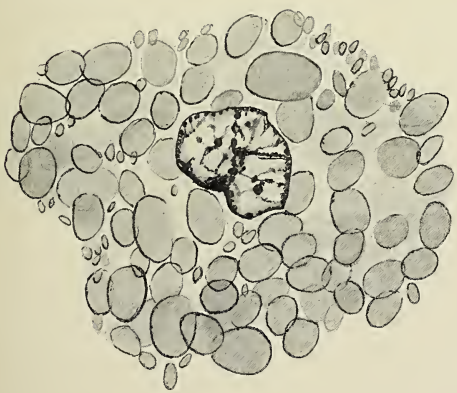



fig. 5

fig. 6





gez. W. Vogt

Weiter sprach Herr Kutscher:

## Uber einige Muskelextraktstoffe des Dornhais (Acanthias vulgaris), nach Untersuchungen von Herrn Dr. Suwa.

Seit den Untersuchungen von Städeler und Frerichs[1]) wissen wir, dass die Selachier unter den Wirbeltieren durch den hohen Gehalt ihrer Organe an Harnstoff eine merkwürdige Ausnahmestellung einnehmen. Während die übrigen Wirbeltiere sich des Harnstoffes, dieses hauptsächlichsten Endproduktes des Eiweissstoffwechsels, möglichst schnell entledigen, stapeln die Selachier davon in ihrem Körper beträchtliche Mengen auf.

Schröder[2]) konnte in der Muskelsubstanz von Scyllium catulus 1,95 %, im Blut des gleichen Fisches sogar 2,61 % Harnstoff nachweisen.

Die Ursache der gewaltigen Ansammlung von Harnstoff in den Muskeln der Selachier ist bisher keineswegs völlig aufgeklärt. Nach Schröder,[2]) der sich mit dieser Frage am eingehendsten beschäftigte, „findet der grosse Reichtum der Organe des Selachiers an Harnstoff in der Trägheit, mit welcher die Niere denselben ausscheidet, seine Erklärung. Die Ausscheidung des Harnstoffes ist hier, wenn man so sagen darf, behindert, und der Selachier gleicht in dieser Beziehung bis zu einem gewissen Grade einem Säugetiere im Zustande der Urämie".

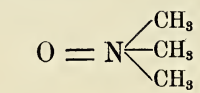
War die von Schröder ausgesprochene Hypothese richtig, dann liess sich annehmen, dass die Niere der Selachier nicht ausschliesslich bei der Ausscheidung des Harnstoffes träge arbeiten würde.

1) Journ. f. prakt. Chemie Bd. 73 S. 48 und Bd. 76 S. 58.
2) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 14 S. 576.

Man konnte vielmehr vermuten, die Selachier würden auch andere Substanzen, die im Laufe des regressiven Stoffwechsels sich bilden, neben dem Harnstoff in ihrem Leibe aufstapeln.

Bestätigte sich diese Voraussetzung, so musste man in den Selachieren ausgezeichnete Objekte haben, um nach Stoffen zu fahnden, die bei den höher stehenden Wirbeltieren infolge ihrer schnellen Ausscheidung sich dem Nachweise entziehen.

Auf Grund dieser Überlegungen hat Herr Suwa genaue Untersuchungen der Organe des Dornhais vorgenommen, und es ist ihm in der Tat gelungen unter den wasserlöslichen Muskelextraktstoffen des genannten Fisches zwei Körper in reichlicher Menge nachzuweisen, die man bei den anderen Wirbeltieren bisher überhaupt noch nicht aufgefunden hat. Der eine derselben ist das Betain, der zweite Trimethylaminoxyd



Das Betain ist, seitdem es Scheibler aus der Zuckerrübe dargestellt hat, aus zahlreichen Pflanzen isoliert werden. Es schien sich aber ebenso ausschliesslich auf das Pflanzenreich zu beschränken wie der Harnstoff auf das Tierreich.[1]) Dann wurde es jedoch 1886 von Brieger[2]) in der Miesmuschel, 1907 von Ackermann und Kutscher[3]) in dem aus der Nordseegarnele erzeugten Krabbenextrakt nachgewiesen. Aber sein Verbreitungsgebiet reicht, wie der am Dornhai erhobene Befund zeigt, auch zu den Wirbeltieren hinauf.

---

1) Im Jahre 1903 ist der Harnstoff von Bamberger und Landsiedl auch in Pflanzen, nämlich Bovisten, aufgefunden. Monatshefte f. Chemie Bd. 24 S. 218.

2) Die Ptomaine. Berlin 1885/1886.

3) Zeitschrift für Untersuchungen der Nahrungs- und Genussmittel Bd. 14 S. 687.

Der zweite Körper, das Trimethylaminoxyd ist bisher weder im Tier- noch im Pflanzenreiche aufgefunden worden, trotzdem er seiner chemischen Zusammensetzung nach zum Betain in naher Beziehung stehen kann.

Die Zahl der eigenartigen Muskelextraktstoffe, die sich aus dem Fleische des Dornhais gewinnen lassen, ist mit dem Betain und Trimethylaminoxyd durchaus nicht erschöpft; aber die beiden genannten Stoffe sind doch durch ihre Eigenschaften so ausgezeichnet, dass ihre Reindarstellung sich besonders leicht bewerkstelligen lässt.

In auffallend geringer Menge fand sich dagegen im Muskel des Dornhais das Kreatin und Kreatinin vertreten. Diese beiden sonst vorherrschenden Muskelextraktstoffe verschwinden gegenüber dem Betain und Trimethylaminoxyd. Der Befund stimmt mit den Angaben Krukenbergs [1]) überein. Krukenberg fand in den Muskeln der Selachier kein Kreatinin und nur wenig Kreatin.

---

1) Untersuchungen aus dem physiol. Institut zu Heidelberg Bd. 4 S. 33—63.

In der Sitzung vom 10. Februar hielt Herr Engeland als Gast den Vortrag:

## Zur Kenntnis der Eiweissstoffe.

Bekanntlich besitzen die Eiweissstoffe ein sehr grosses und jedenfalls sehr kompliziert zusammengesetztes Molekül. Um einen Einblick in dessen Struktur zu bekommen, hat man schon frühzeitig versucht es in kleinere Bruchstücke zu zerlegen. Man kann dies bewirken, indem man das Eiweiss in der Hitze mit starken Säuren oder Laugen behandelt oder es der Wirkung von Verdauungsfermenten unterwirft. Unter dem Einflusse dieser Agentien liefert das Eiweiss eine grosse Reihe verschiedener, wohlcharakterisierter, kleinmolekularer Spaltungsprodukte. Dieselben sind nach unseren jetzigen Kenntnissen alle Aminosäuren d. h. Körper, die ausser einer bezw. zwei Karboxylgruppen noch eine oder mehr Amidogruppen enthalten. Es ist natürlich die Hauptaufgabe der Eiweisschemie diese Aminosäuren, die bei der Spaltung eines Eiweisskörpers auftreten zu trennen und womöglich die einzelnen quantitativ zu bestimmen. Man kann nun die bei der Eiweissspaltung auftretenden Aminosäuren einteilen in einen basischen und einen nicht basischen Anteil. Ersterer wird repräsentiert durch die drei Hexonbasen. Diese enthalten zwei oder mehr Atome Stickstoff und nur eine Carboxylgruppe, daher erklären sich ihre basischen Eigenschaften. Ihre Trennung und quantitative Bestimmung ist nach dem Verfahren von Kossel und Kutscher in befriedigender Weise ermöglicht worden. Sehr viel schlechter liegen die Verhältnisse bei dem nicht basischen Anteil. Ein einheitliches Verfahren zu ihrer qualitativen Trennung wurde erst in

neuerer Zeit von E. Fischer angegeben. Es beruht auf der fraktionierten Destillation der Aethylester der Aminosäuren. Die Ausbeute ist jedoch wenig befriedigend. Annähernd quantitativ lassen sich nur die Aminosäuren bestimmen, die in Wasser schwer löslich sind, nämlich Tyrosin, Leucin, ferner die Glutaminsäure, deren Chlorid in konzentrierter Salzsäure wenig löslich ist. Die in Wasser leicht löslichen bieten selbst der qualitativen Ausmittelung Schwierigkeiten. Der Grund hierfür ist der, dass sie auf eine Amino- eine Karboxylgruppe enthalten. Sie sind dadurch gleichzeitig Basen und Säuren, also indifferente Körper. Sie bilden mit Säuren nur leicht lösliche Salze. Ebenso sind ihre Metallsalze fast alle leicht löslich, die schwerlöslichen beeinflussen sich ausserdem wenn sie in einem Gemenge erzeugt werden in sehr unerfreulicher Weise in ihrer Löslichkeit. Diese Verhältnisse lassen sich zweifellos bessern, wenn man den Indifferentismus der Aminosäuren beseitigt. Nun lassen sich, wie oben bemerkt, die Hexonbasen relativ leicht trennen und nebeneinander bestimmen. Der Grund hierfür liegt sicher in ihrer starken Basicität, die die grosse Krystallisationsfähigkeit ihrer Salze bedingt.

Es liegt daher der Gedanke nahe auch die Basicität der Monoaminosäuren zu erhöhen. Das ist in der Tat auf relativ einfachem Wege zu erreichen. Die Aminosäuren lassen sich nämlich auffassen als primäre Amine. Die beiden leicht beweglichen Wasserstoffatome der Aminogruppe lassen sich beim Behandeln mit Halogenalkylen leicht durch Alkyl substituieren. Es entstehen so tertiäre Basen, die ihrerseits noch ein Molekül Halogenalkyl addieren und in quaternäre Basen übergehen. Aminosäuren liefern hierbei die sogenannten Betaine. Letztere zeichnen sich wie alle Ammoniumbasen aus durch die grosse Krystallisationsfähigkeit ihrer Salze; namentlich bilden sie wohl charakterisierte, schwerlösliche Verbindungen mit den Alkaloidfällungsmitteln der Phosphorwolframsäure, Quecksilber-, Cadmium-, Platin- und Goldchlorid. Man unterwirft

also das Gemenge der leicht löslichen Monoaminosäuren [1]) der erschöpfenden Methylierung, und erhält so die Betaine der entsprechenden in demselben enthaltenen Aminosäuren; die sich durch die verschiedene Löslichkeit ihrer Schwermetalldoppelsalze leicht trennen lassen. Besonders günstig gestalten sich die Verhältnisse nach meinen bisherigen Versuchen für die Pyrrolidinkarbonsäure, die sich quantitativ bestimmen lässt in Form des Chloraurates der n-Methylhygrinsäure. Aus Casein erhielt ich z. B. 6,6 % also mehr als doppelt so viel als nach dem älteren Verfahren. Auch der Nachweis des Glykokolls in Form von Betain bietet keine Schwierigkeiten.

In Kenntnis der vorstehenden Tatsachen lässt sich die weite Verbreitung der Betaine in den Pflanzen und wahrscheinlich auch in den Tieren erklären und schliesslich auf die dem Eiweiss entstammenden Amidosäuren zurückführen.

---

In der anschliessenden Geschäftssitzung verlas zunächst der Vorsitzende Herr Kayser den Jahresbericht. Dann wurde dem Rechnungsführer Herrn Disse Entlastung erteilt und der Dank der Gesellschaft für seine Tätigkeit ausgesprochen.

Es folgte die vorgeschriebene Neuwahl des Vorstandes. Zum Vorsitzenden der Gesellschaft wurde Herr Kayser gewählt, in den engeren Ausschuss kam Herr Korschelt als stellvertretender Vorsitzender, Herr Richarz und Herr Schenck.

---

1) Die Hexonbasen lassen sich auffallenderWeise schlecht methylieren. Sie liefern nur geringe Mengen krystallisationsfähiger Methylierungsprodukte.

## Neu aufgelegte Schriften:

Sitz.-Ber. naturw. Ges. Dresden „Isis". Jahrg. 1908, Juli—Dezember. Dresden 1909.
Verzeichn. d. Biblioth. „Flora", Kgl. Sächs. Ges. f. Botanik. Dresden 1909.
Bericht über die Tätigkeit des deutschen Ausschusses f. d. mathem. u. naturw. Unterricht im Jahre 1908. Leipzig-Berlin 1909.
Verh. naturf. Ges. Basel. XX, 1. Basel 1909.
Mitteil. d. Ver. f. Naturkunde Krefeld. Krefeld 1909.
Verh. naturf. Ver. Brünn. XLVI. 1907. Brünn 1908.
Sitz.-Ber. naturf. Ges. Leipzig. 34. Jahrg. 1907. Leipzig 1908.
Verhandl. naturhist.-mediz. Ver. Heidelberg. N. Folge. IX, 4. Heidelberg 1909.
Verh. Berlin. mediz. Ges. 1908. XXXIX. Berlin 1909.
Sitz.-Ber. phys.-mediz. Societ. Erlangen. XXXIX, 1907. Erlangen 1908.
Festschrift ders. Ges., 27. Juni 1908.
Lotos, naturw. Zeitschr. Prag. Bd. 56, 1—10. Prag 1908.
Leopoldina. 1909, Heft 45, Nr. 2—4. Halle 1909.
Verh. geol. Reichsanst. Wien. Jahrg. 1908. Nr. 15—18. Wien 1909.
Bibliographie d. deutsch. naturw. Literatur. XII, 4—6. 1909.
Archives Musée Teyler. Sér. II, vol. XI, 3. partic Haarlem 1909.
Regenwaarnemingen nederl. India. 29. Jahrg., I. u. II. Batavia 1908.
Observations r. magnetical and meteorol. observatory Batavia. Bd. 29. 1906. Batavia 1908.
Bergens Museum. Aarsberetning for 1908. Bergen 1909.
Bergens Mus.-Aarbog. Bergen 1908.
Swedish Exploration in Spitzbergen 1758—1908.
Rendiconto Accad. scienz. fis. matem. 3. S. XIV, fasc. 8—12. Napoli 1908.
Dass. ser. 3. XV, fasc. 1—2. Napoli 1909.
Atti soc. toscana sc. nat. Pisa. Vol. 18, 1, 2. Pisa 1908/09.
Atti r. accad. Lincei. s. 5. Rendiconti XVIII, fasc. 4—18. Roma 1909.
Charles Janet, Anatomie etc. de reine la fourmi. Limoges. 1907. Texte et Atlas.
Bull. Ac. imp. Sciences. St. Pétersbourg 1909. 4—7.
Journal Elisha Mitchell Scientif. Soc. 24, 4. Chapel Hill 1908.
Proceed. Amer. philos. soc. Philadelphia 47, 190. Philadelphia 1908.
Bull. Scientif. Laboratoris Denison University. 14, art. 1—5. Granville 1908.
Bull. Univ. of Kansas. IX, 5. Lawrence. Kansas. 1908.
Bull. Wisconsin nat. hist. Soc. Milwaukee 6, 3 u. 4. Milwaukee 1908.
Univers. Montana 51, Register 1907/8.
Montana High School debating league. Nr. 52. 1908.
Some Economic Geology of Montana. Bull. 150, 3. 1908.

Bureau of Amer. Ethnology. Bull. 34. Washington 1908.
Smithsonian Miscell. Collect., vol. 52, Nr. 1813. Washington 1909.
Annual report of the Smithson. Instit. f. 1907 Washington 1908.
Bullet. Mus. Comparat. Zoology. Harvard College. v. 52, 7. Cambridge 1909.
Proceed. Amer. Acad. Arts and Sciences. 44, 6—10. Cambridge 1909
Bullet. N. York public Library. 13, 2—4. N. York 1909.
Amer. Naturalist. 43, 507, 508. N. York 1909.
Parergones Instituto Geológico Mexico. II. 8, 9. Mexico 1909.
Bullet Inst. Geol. Mexico. No. 26. Mexico 1908.
Catalogos da fauna Brazileira II, S. Paolo 1909.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 5 Juli 1909

In der Sitzung vom 14. Juli sprach Herr Römer (nach gemeinschaftlichen Versuchen mit Dr. Joseph):

### Ueber ein tuberkulose-prognostisches Verfahren.

Das souveränste Mittel zur Entscheidung der Frage, ob ein Organismus eine Tuberkuloseinfektion erlitten hat oder nicht, ist das von Koch entdeckte Tuberkulin. Tuberkulöse Individuen antworten auf eine subkutane Injektion des Tuberkulins mit einer charakteristischen Allgemeinreaktion und zwar auf Dosen des Tuberkulins, die von dem gesunden, noch nicht mit Tuberkulosevirus in Berührung gekommenen Organismus ohne jede Reaktion vertragen werden. Das Tuberkulin ist also für den tuberkulösen Organismus ein stärkeres Gift, als für den gesunden Organismus, oder um es anders auszudrücken, der tuberkulöse Organismus ist, verglichen mit einem gesunden Individuum der gleichen Art gegenüber dem Tuberkulin „überempfindlich". Auf dieser Differenz in der Empfindlichkeit gegen Tuberkulin zwischen tuberkuloseinfizierten und nicht tuberkuloseinfizierten Individuen beruht die diagnostische Verwendbarkeit des genannten Mittels.

Pathologisch-anatomische Feststellungen haben nun ergeben, dass unter europäischen Verhältnissen der grösste Teil

der erwachsenen Menschen als tuberkuloseinfiziert zu betrachten ist. Nägeli fand bei Durchmusterung von über 500 menschlichen Kadavern, Burckhardt bei der genauen Durchsuchung von 1452 Kadavern, dass nahezu 100% der Erwachsenen mit Tuberkulose behaftet sind. Wir müssen logischer Weise also auch erwarten, dass nahezu alle erwachsenen Menschen auf Tuberkulin reagieren, dass sie tuberkulinüberempfindlich sind. Dem ist in der Tat so. Hamburger hat bei wahlloser Tuberkulinprüfung aller in ein Kinderspital Wiens eingelieferten Kinder festgestellt, dass bereits fast sämtliche 14jährigen Kinder eine positive Tuberkulinreaktion geben, dass also mit dem 14. Lebensjahr die Durchseuchung des Menschengeschlechts — oder um es vorsichtiger auszudrücken, die Durchseuchung der in Wien lebenden Menschen — mit Tuberkulose abgeschlossen ist.

Solche Feststellungen würden wenig tröstlich erscheinen, wenn wir nicht andererseits wüssten, dass durchaus nicht jeder tuberkuloseinfizierte und tuberkulinüberempfindliche Mensch tuberkulosekrank zu sein braucht. Für den Arzt aber, welcher wissen will, ob die Krankheit, wegen der er konsultiert wird, Tuberkulose ist oder nicht, scheint das Tuberkulin seinen diagnostischen Ruf verlieren zu müssen, da es jeden Fall von Tuberkulose anzeigt, mag derselbe nun im klinischen Sinne als „tuberkulös", d. h. tuberkulosekrank aufzufassen sein oder nicht. Trotzdem halten erfahrene Tuberkuloseärzte an der diagnostischen Brauchbarkeit des Tuberkulins fest, allerdings nur unter Berücksichtigung eines ganz bestimmten Prüfungsmodus.

Nach langem Hin- und Herprobieren wendet man für die diagnostische subkutane Tuberkulinprüfung des Menschen folgendes Prüfungsschema an: Man injiziert dem verdächtigen Patienten zuerst $^2/_{10}$ mg; wenn keine Reaktion erfolgt 1 mg, wenn dann keine eintritt 5 mg, und wenn auch danach noch keine Temperatursteigerung beobachtet wird endlich 10 mg. Zu grösseren Dosen geht man nicht mehr, weil nach Kochs

Angaben auch gesunde Menschen hierauf reagieren können. Koch hat nämlich in einem Selbstversuch mit einer noch etwas höheren Dosis eine recht intensive Reaktion bei sich beobachtet; er glaubt also, dass ein gesunder, d. h. tuberkulosefreier Mensch auf Dosen, die über 10 mg hinausgehen, reagieren könne. Schon ein Blick auf das Prüfungsschema lehrt, dass zwischen der Tuberkulinempfindlichkeit eines Tuberkulösen und eines Tuberkulösen ausserordentliche quantitative Differenzen bestehen können, wenn wir sehen, wie der eine schon auf Bruchteile eines Milligramms reagiert, der andere erst auf 10 mg. Es kommt aber noch ein weiteres hinzu. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass der gesunde, wirklich tuberkulosefreie, noch nie mit Tuberkulosevirus in Berührung gekommene Mensch nicht nur wenig empfindlich gegen Tuberkulin ist, sondern überhaupt vollständig unempfindlich. Hamburger hat bis zu 500 mg konzentrierten Tuberkulins solchen wirklich tuberkulosefreien Personen injiziert, ohne die geringsten Folgeerscheinungen zu beobachten. Wir müssen also auch die auf 100 und 500 mg Tuberkulin reagierenden Menschen als tuberkuloseinfiziert betrachten. Wir kämen damit aber, wie ein nochmaliger Blick auf das Prüfungsschema lehrt, zu noch grösseren Differenzen in der Tuberkulinempfindlichkeit verschiedener tuberkuloseinfizierter Individuen: manche tuberkuloseinfizierte Menschen reagieren auf Bruchteile eines Milligramms, andere erst auf 100—500 mg.

Es drängt sich unwillkürlich die Frage auf, ob nicht diese beträchtlichen Unterschiede im Tuberkulinempfindlichkeitsgrad bedingt sind durch Differenzen in der Art der die Empfindlichkeit bedingenden Tuberkuloseinfektion. A priori scheint es so, als ob dem schwächeren Empfindlichkeitsgrad eine weniger schwere Tuberkuloseinfektion entspräche. Dafür spricht zunächst die Schlussfolgerung Kochs, dass die nur auf Dosen von mehr als 10 mg reagierenden Menschen als gesund zu betrachten sind — wie wir heute hinzufügen

müssen, als klinisch gesund, aber trotzdem als tuberkuloseinfiziert. Dafür spricht weiter die Erfahrung mancher Tuberkuloseärzte, dass die aktiveren Tuberkuloseprozesse besonders empfindlich sind schon gegen relativ kleine Dosen Tuberkulins.

Es drängt sich deshalb schon aus einer solchen rein kritischen Betrachtung des Tuberkulinreaktionsproblems der Wunsch auf, genau quantitativ den Empfindlichkeitsgrad gegenüber Tuberkulin zu bestimmen und das gefundene Resultat in Vergleich zu setzen mit der aus dem Ergebnis der übrigen klinischen Untersuchungsmethoden, der weiteren Beobachtung event. Sektion des Falles festgestellten Prognose des Tuberkuloseprozesses.

Der Versuch einer genauen quantitativen Bestimmung des Tuberkulinempfindlichkeitsgrades stiess aber bei der uns bisher ausschliesslich zur Verfügung stehenden subkutanen Anwendungsweise des Tuberkulins auf mehrfache Schwierigkeiten. Denn wenn wir im gegebenen Fall von kleinen, subkutan injizierten Dosen anfangend allmählich zu stärkeren Dosen aufsteigen, um die Grenzdosis zu ermitteln, bei der eben die Reaktionsfähigkeit des Organismus beginnt, so können wir uns in doppelter Richtung täuschen; einmal indem wir bei solchem Vorgehen den Organismus allmählich an das Tuberkulin gewöhnen, ihn gegen das Tuberkulin immunisieren, sodass der Empfindlichkeitsgrad fälschlicherweise geringer erscheint, als er von vornherein war; umgekehrt kann es vorkommen, dass wir bei demselben Vorgehen den Organismus nicht nur nicht immunisieren, sondern im Gegenteil ihn noch stärker empfindlich gegen Tuberkulin, also gewissermassen überüberempfindlich machen können, sodass uns sein Empfindlichkeitsgrad täuschender Weise stärker imponiert, als er in Wirklichkeit ist. Dazu kommen die Schwierigkeiten, die durch die zahllosen Temperaturmessungen bei solchen Vorgehen gegeben sind, durch die Möglichkeit von Täuschungen wegen aus anderem Grunde erfolgender Temperatursteigerungen etc.

Die bisher ausschliesslich subkutane Anwendungsweise des Tuberkulins hat aber nun eine sehr glückliche Modifikation durch v. Pirquet erfahren. v. Pirquet zeigte, dass es auch nach blosser Einreibung des Tuberkulins in kleine Hautscarifikationen beim tuberkulösen Organismus zu einer charakteristischen Reaktion kommt, die beim gesunden Organismus ausbleibt. Die durch v. Pirquet geschaffene technische Vereinfachung in der Anwendung des Tuberkulins, die Einfachheit der Kontrolle des Impferfolgs hat unsere Kenntnisse vom Wesen der Tuberkulinreuktion erheblich gefördert.

Nach v. Pirquet sind noch andere derartige lokale Tuberkulin-Reaktionen zu allgemeiner Anwendung gekommen, so z. B. die Conjunctival-Reaktion Wolff-Eisners, welche darin besteht, dass der Tuberkulöse auf die Einträufelung von Tuberkulin in den Bindehautsack mit einer Lokalreaktion antwortet. Ferner gehört hierhin die sogenannte Stichreaktion von Escherich, die sich nach subkutaner Tuberkulininjektion um die Einstichstelle der Nadel an der Oberfläche der Haut zeigt.

Die eben genannte Pirquet'sche Kutan-Reaktion bietet nun die Möglichkeit, die erwünschte genaue quantitative Bestimmung der Tuberkulinempfindlichkeit in einem gegebenen Fall vorzunehmen, indem einmal dabei Täuschungen vermieden werden und andererseits die Kutan-Reaktion es ermöglicht, gleichzeitig den betreffenden Menschen mit verschiedenen Tuberkulinverdünnungen zu prüfen.

Dieses Verfahren ist in der Tat von zwei dänischen Autoren Ellermann und Erlandsen angewandt worden und nach ihren Untersuchungen hat es den Anschein, als wäre eine derartige quantitative Bestimmung des Tuberkulinempfindlichkeitsgrades, oder wie sich die genannten Autoren ausdrücken, des „Tuberkulintiters“ des Organismus geeignet, Aufschlüsse über die klinische Bewertung des betr. Falles

zu geben, also bis zu einem gewissen Grade eine Prognose des Tuberkuloseprozesses im Einzelfall zu ermöglichen. Ich brauche wohl kaum darauf hinzuweisen, wie ausserordentlich wichtig der Besitz eines solchen zuverlässigen tuberkuloseprognostischen Verfahrens sein würde.

Die Ergebnisse solcher Untersuchungen am Menschen nun, wie sie von Ellermann und Erlandsen zuerst gewonnen wurden, sind aber nicht leicht zu deuten, weil das klinische Urteil, ob im gegebenen Fall eine gutartige oder bösartige, eine aktive oder inaktive Tuberkulose vorliegt, von subjektiven Momenten oft recht abhängig ist. Auf einen Vergleich des Resultates jener quantitativen Bestimmung des Tuberkulintiters mit dem Ergebnis der übrigen klinischen Beurteilung des Falles wäre aber der Kliniker ausschliesslich angewiesen.

Im Tierexperiment dagegen haben wir es in der Hand, ganz willkürlich durch Dosierung des infizierenden Virus schwere oder leichte Tuberkulosefälle zu erzeugen. Quantitative Versuche zur Bestimmung des Empfindlichkeitsgrades derartig mit stark differierenden Dosen infizierter Tiere sind von Dr. Joseph und mir angestellt worden, bereits ehe uns die Arbeiten von Ellermann und Erlandsen bekannt waren. Wir haben sie in grösserem Umfange an Rindern und an Meerschweinchen ausgeführt. Wir stossen bei diesen Versuchen aber auf eine neue Schwierigkeit. Das Rind reagiert auf kutane Tuberkulinapplikation nach v. Pirquet — auch wenn es tuberkuloseinfiziert ist — mit wenig Regelmässigkeit und im Meerschweinversuch, auf den sich die nachfolgenden Mitteilungen ausschliesslich erstrecken sollen, lässt uns die kutane, wie auch die conjunctivale Methode vollständig im Stich. Tuberkulöse Meerschweine reagieren zwar auf subkutan injiziertes Tuberkulin, wenn es in genügend grossen Dosen eingespritzt wird, sind aber kutan und conjunctival selbst gegen konzentriertes Tuberkulin unempfindlich. Die Ausführung einer genauen quantitativen Bestimmung

des Tuberkulinempfindlichkeitsgrades verschiedenartig infizierter tuberkulöser Meerschweine war daher erst möglich, nachdem ich nachgewiesen hatte, dass es bei dem Meerschwein gelingt, durch eine intrakutane Injektion von Tuberkulin eine charakteristische und streng spezifische Lokalreaktion zu erzeugen. (Folgt kurze Beschreibung der Technik und Demonstration von Intrakutan-Reaktionen beim Meerschwein.)

Mit Hilfe dieses Prüfungsmodus wurde nun eine grosse Anzahl von Versuchen angetellt, die, summarisch berichtet, folgendes Resultat hatten: Je intensiver wir künstlich ein Meerschwein infiziert haben, um so früher kommt es zum Eintritt der intrakutan nachgewiesenen Tuberkulinempfindlichkeit. Die Intrakutan-Reaktion — qualitativ und quantitativ geprüft — nimmt beim einzelnen Meerschwein zu mit der Entwicklung des Tuberkuloseprozesses in seinem Organismus. Je schwächer die künstlich erzeugte Tuberkuloseinfektion, um so langsamer die Entwicklung des Tuberkuloseprozesses und um so langsamer entsprechend die Zunahme des qualitativ und quantitativ festgestellten Empfindlichkeitsgrades. In einer Versuchserie z. B., in der die Meerschweine mit steigenden Dosen, beginnend mit $^1/_{1000000000}$ mg bis zu $^1/_{10}$ mg Tuberkelbazillen infiziert waren, zeigten 3 Monate nach der Infektion die mit $^1/_{1000000000}$ mg infizierten Tiere nur auf die grosse Dosis von 0,02 ccm Tuberkulin eine schwache Reaktion, die mit $^1/_{100000000}$ mg infizierten reagieren bereits auf 0,002 ccm Tuberkulin, aber noch mit schwacher Reaktion, die mit Dosen von $^1/_{10000000}$, $^1/_{1000000}$ und $^1/_{100000}$ mg reagieren selbst auf 0,00002 ccm Tuberkulin, wenn auch mit schwacher Reaktion, während die mit $^1/_{1000}$ und $^1/_{10}$ mg infizierten Meerschweine auf die Dosis von 0,00002 ccm ganz intensiv reagieren.

Umgekehrt zeigten Tiere, die mit der gleichen Dosis infiziert waren, auch genau den gleichen Empfindlichkeitsgrad. (Genaue Erläuterung der Versuchsresultate an übersichtlichen Tabellen.)

Es geht somit nach unseren gesamten Ergebnissen die Intensität der intrakutan geprüften Tuberkulinempfindlichkeit der Meerschweine Hand in Hand mit der Schwere der tuberkulösen Infektion. Man kann daher durch eine sorgfältige Ermittelung des Tuberkulinempfindlichkeitsgrades bei experimentell infizierten Meerschweinen sich sehr brauchbare Anhaltspunkte für die prognostische Beurteilung des jeweiligen Tuberkuloseprozesses verschaffen. Die Fortsetzung unserer Versuche hat inzwischen gelehrt, dass es besonders wertvoll ist, von Zeit zu Zeit erneute Bestimmungen des Empfindlichkeitsgrades vorzunehmen. Nimmt dann der Empfindlichkeitsgrad intensiv zu, so entspricht dem eine schlechtere Prognose des betr. Tuberkuloseprozesses, während umgekehrt bei nicht eintretender Veränderung des Reaktionsgrades eine längere Lebensdauer des infizierten Meerschweins sich mit einiger Bestimmtheit voraussagen lässt.

Der Wunsch, auch in der menschenärztlichen Praxis eine objektive Methode zu besitzen, die prognostische Schlüsse für den einzelnen Tuberkulosefall erlaubt, ist ein sehr dringender. Vielleicht bietet die Intrakutan-Reaktion nach der von uns empfohlenen quantitativen Methode ein solches brauchbares tuberkuloseprognostisches Verfahren auch für den Menschen. Jedenfalls erscheint die Intrakutanmethode für diesen Zweck geeigneter als die von Ellermann und Erlandsen vorgeschlagene Pirquet'sche Kutanmethode, weil es naturgemäss auf eine exakte Dosierung des Tuberkulins sehr ankommt und diese nur durch die Intrakutan-Methode garantiert wird.

Ebenso dringend wäre der Besitz eines zuverlässigen objektiven tuberkuloseprognostischen Verfahrens für die veterinärärztliche Praxis, für die Bekämpfung der Rindertuberkulose. In seiner bisherigen Anwendungsweise klärt uns zwar das Tuberkulin mit einer verblüffenden Sicherheit darüber auf, ob ein Rind tuberkuloseinfiziert ist oder nicht, ohne uns aber Anhaltspunkte dafür zu geben, welches die besonders

gefährlichen, für die weitere Verbreitung der Tuberkulose in Betracht kommenden Fälle sind, welche Tiere voraussichtlich in Bälde wirtschaftlich wertlos sein werden etc. Nehmen wir weiter hinzu, dass im Reichsviehseuchengesetz die Entschädigung der Besitzer für alle Tiere mit schwerer Tuberkulose vorgesehen ist, um die Bekämpfung der Rindertuberkulose zu erleichtern, und vergegenwärtigen wir uns endlich, dass die Entscheidung, ob eine schwere Tuberkulose vorliegt oder nicht, sich nur auf die in der Veterinärpraxis recht schwierige und in ihrem Ergebnis recht zweifelhafte klinische Untersuchung stützen kann, so ist der Besitz eines objektiven tuberkuloseprognostischen Verfahrens in der Veterinärpraxis etwas durch das Gesetz nunmehr geradezu Gefordertes. Unsere eigenen bisherigen Beobachtungen am Rinde machen es nicht unwahrscheinlich, dass die quantitative Bestimmung des Tuberkulinempfindlichkeitsgrades mit Hilfe der Intrakutan-Reaktion diese Forderung befriedigen wird. Ehe aber hierüber eine sichere Entscheidung möglich ist, müssen erst systematische Untersuchungen an einer grösseren Zahl von Rindern ausgeführt sein. Ein solches Versuchsprogramm würde m. E. am besten so ausgeführt, dass einmal von gesunden Rindern ein Teil künstlich schwer, ein anderer Teil leicht infiziert wird, dann der Empfindlichkeitsgrad nach der von uns beschriebenen Methode geprüft und schliesslich das Ergebnis dieser Untersuchungen durch sorgfältige Sektionen kontrolliert wird. Weiter würde man an spontan an Tuberkulose erkrankten Rindern den Empfindlichkeitsgrad ermitteln, seine Veränderungen während einer längeren Beobachtungszeit feststellen, um dann schliesslich ebenfalls durch Sektionen den wirklich praktischen Wert unseres eventuellen tuberkuloseprognostischen Verfahrens zu prüfen.

Wir wollen versuchen, für diese praktisch wichtigen Versuche die nötigen Mittel zu bekommen.

Hierauf sprach Herr F. Richarz über

## Neue Methoden zur Bestimmung der spezifischen Wärmen von Gasen.

Den grundlegenden Plan zu den im Folgenden beschriebenen Methoden hatte ich bereits im Wintersemester 1907/08 gefasst und mit den Herren Kollegen K. Schaum und F. A. Schulze besprochen; auch hatte Herr Karl Küster im hiesigen Physikalischen Institut bereits zu Ostern 1908 die Ausführung begonnen, als zu Beginn des Wintersemesters 1908/09 die Berliner Inaugural-Dissertation von Fritz Voller erschien, in der Bestimmungen nach einer verwandten Methode beschrieben werden.

Ausgangspunkt bildet die Pfaundler'sche elektrische Methode zur Ermittelung spezifischer Wärmen; siehe Kohlrausch, Lehrbuch, 1905, pag. 200; und zwar in der dort angegebenen absoluten Bestimmungsweise. Durch elektrische Heizung einer Drahtspirale im Inneren eines grösseren Gasvolumens wird letzterem eine gewisse Wärmemenge $dQ$ zugeführt. Diese wird als elektrische Energie mit einem Wattmeter als eine Anzahl von Wattsekunden direkt gemessen. Voraussetzung der Anwendbarkeit der Methode ist, dass es nach einer kurz dauernden Heizung einen Moment gibt, in welchem bis auf einen verschwindenden Rest alle Wärme die Drahtspirale verlassen hat, ihren Sitz im Gase hat, und auch noch keine Wärme an die Gefässwände abgegeben worden ist. Nach den Resultaten der Arbeit von Herrn Reinhold Oehme[1]) kann diese Voraussetzung als erfüllbar

1) Bestimmungen der Temperaturänderungen in auf- und abbewegten Gasmassen und daraus abgeleitete Berechnung ihrer spezifischen Wärmen. Inaugural-Dissertation, Marburg 1908.

vermutet werden. Wenn dann auch die Wärme tatsächlich nur in einem Teile der Gasmasse ihren Sitz hat, werden Druck und Volumen der gesamten Gasmasse doch dieselben sein, als ob jene Wärmemenge auf letztere gleichmässig verteilt wäre und in ihr eine Temperaturerhöhung $d\vartheta$ hervorgerufen hätte, welche der Druckerhöhung $dp$ oder der Volumenvergrösserung $dv$ entspricht. Den Zusammenhang mit den beiden spezifischen Wärmen $c_p$ und $c_v$ können wir dann etwa nach der Gleichung (13 b) in Helmholtz, Vorlesungen über Theorie der Wärme, herausgegeben vom Vortragenden, pag. 187, angeben. Jene Gleichung ist auf die Masseneinheit bezogen; wenden wir sie auf die Masse $m$ an und nennen wir deren Volumen $V = m \cdot v$, so wird:

$$dQ = m \cdot c_v \cdot d\vartheta + m \cdot (c_p - c_v) \cdot \vartheta \cdot \frac{dV}{V} \quad . \quad . \quad (1)$$

Aus der Zustandsgleichung: $pV = m \cdot R \cdot \vartheta$ folgt:

$$\log p + \log V = \log (mR) + \log \vartheta$$

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{d\vartheta}{\vartheta}$$

und also auch:

$$dQ = m \cdot c_p \cdot d\vartheta - m \cdot (c_p - c_v) \cdot \vartheta \cdot \frac{dp}{p} \quad . \quad . \quad (2)$$

Zur Bestimmung von $c_v$ hatte ich von vornherein gedacht — ähnlich wie es inzwischen von Herrn Fritz Voller ausgeführt worden ist — die Gasmasse durch eine elastische Membran abzuschliessen, oder eine manometrische Kapsel in ihr Inneres zu bringen, sodass $dV$ verschwindend klein wird, und in Gleichung (1) nur das erste Glied bleibt. Dieses Verfahren erscheint mir immer noch als das aussichtsreichste für $c_v$. Wendet man dagegen ein Gefäss von der Form an, wie sie z. B. bei der Dampfdichtebestimmung nach Dumas benutzt wird, und sperrt die Gasmasse ab durch einen verschiebbaren Flüssigkeitstropfen in der horizontalen Ansatzröhre, so ist

$dp = 0$, in Gleichung (2) bleibt nur das erste Glied und man erhält durch einen derartigen Versuch $c_p$.

Im Idealfalle liesse sich mit beliebiger Annäherung eine direkte Bestimmung von $c_v$ auch z. B. in folgender Weise denken. Die Druckerhöhung durch die Temperaturerhöhung $d\vartheta$ wirkt auf die horizontale Oberfläche eine Absperrflüssigkeit in einem weiten Gefäss vom Querschnitte $f_i$. Mit diesem weiten Gefäss kommuniziert ein engeres Steigrohr vom Querschnitte $f_a$. Man erkennt, dass eine minimale Druckerhöhung im Gase ein starkes Steigen der Flüssigkeit in dem engen äusseren Schenkel zur Folge haben muss, also einen starken Gegendruck hervorruft, der das Volumen des Gases nahezu konstant erhält. Es muss indessen fraglich erscheinen, ob die Reibung der Flüssigkeit in dem engen Steigrohre nicht vielleicht die Ausführbarkeit dieser Methode beeinträchtigen wird. Nimmt man aber den Querschnitt $f_a$ des engen Steigrohres nicht sehr klein gegenüber demjenigen $f_i$ des inneren Schenkels, so erhält man aus einem Versuche weder $c_v$ noch $c_p$, sondern eine Grösse, die aus beiden zusammengesetzt ist, wie ich nunmehr ableiten will.

Es sei $p_0$ der während der Versuchsdauer als konstant angenommene äussere Atmosphärendruck, zugleich auch der Anfangsdruck des abgesperrten Gases, wenn zu Beginn des Versuches das Niveau der Absperrflüssigkeit im weiteren und im engeren Schenkel gleich hoch angenommen wird. $V_0$ sei das Anfangsvolumen der Gasmasse. In einer beliebigen Phase des Versuches seien Druck und Volumen des Gases: $p = p_0 + \mathfrak{p}$, $V = V_0 + \mathfrak{v}$, dann ist:

$$(p_0 + \mathfrak{p}) \cdot (V_0 + \mathfrak{v}) = m \cdot R \cdot \vartheta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Die Versuchsanordnung wird nun stets in den betrachteten Fällen so beschaffen sein, dass einer Volumenvergrösserung $\mathfrak{v}$ eine proportionale Druckvermehrung $\mathfrak{p}$ entspricht, sodass wir setzen können:

$$\mathfrak{p} = \beta \cdot \mathfrak{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

wo $\beta$ eine einfach bestimmbare Constante der betreffenden speziellen Apparate ist. Die Ausdehnung $\mathfrak{v}$ kann an der Verschiebung der Sperrflüssigkeit direkt abgelesen werden. Indem wir (4) in (3) einführen, erhalten wir zunächst für einen Moment des betrachteten Vorganges:

$$(p_0 + \beta \cdot \mathfrak{v}) \cdot (V_0 + \mathfrak{v}) = m \cdot R \cdot \vartheta$$

und weiter:

$$m \cdot R \cdot d\vartheta = (p_0 + \beta \cdot V_0 + 2\beta\mathfrak{v})\, d\mathfrak{v}$$

Ferner ist $dV = d\mathfrak{v}$ und $dp = d\mathfrak{p} = \beta \cdot d\mathfrak{v}$. Demnach wird aus (1):

$$R \cdot dQ = c_v \cdot (p_0 + \beta V_0 + 2\beta\mathfrak{v})\, d\mathfrak{v} + m \cdot R \cdot \vartheta(c_p - c_v) \cdot \frac{d\mathfrak{v}}{V}$$

Nach der Zustandsgleichung und (4) wird:

$$\frac{m R \vartheta}{V} = p = p_0 + \mathfrak{p} = p_0 + \beta \cdot \mathfrak{v}$$

Dies in das 2. Glied des Ausdruckes für $R \cdot dQ$ eingeführt, wird:

$$R \cdot dQ = c_v \cdot (p_0 + \beta \cdot V_0 + 2\beta\mathfrak{v})\, d\mathfrak{v} + (c_p - c_v) \cdot (p_0 + \beta\mathfrak{v}) d\mathfrak{v}$$

$$R \cdot dQ = [c_v \cdot \beta(V_0 + \mathfrak{v}) + c_p \cdot (p_0 + \beta\mathfrak{v})] \cdot d\mathfrak{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Statt $\mathfrak{v}$ und $d\mathfrak{v}$ können wir nach (4) auch $\mathfrak{p}$ und $d\mathfrak{p}$ einführen, und erhalten:

$$R \cdot dQ = \left[ c_v \cdot \left( V_0 + \frac{\mathfrak{p}}{\beta} \right) + c_p \frac{p + \mathfrak{p}}{\beta} \right] \cdot d\mathfrak{p} \quad . \quad . \quad (6)$$

Die beiden Grenzfälle kann man sofort hieraus wieder erhalten. Ist die Versuchsanordnung derart, dass der Druck bei Volumenänderungen konstant bleibt, so muss nach (4) $\beta = 0$ sein, und (5) ergibt:

$$R \cdot dQ_p = c_p \cdot p_0 \cdot d\mathfrak{v} = c_p \cdot m \cdot R\, d\vartheta$$

Ist sie dagegen derart, dass das Volumen bei Druckänderungen konstant bleibt, so muss nach (4) $\left[ \mathfrak{v} = \frac{1}{\beta} \cdot \mathfrak{p} \right]$ der Wert von $\beta = \infty$ sein, und (6) ergibt:

$$R \cdot dQ_v = c_v \cdot V_0 \cdot d\mathfrak{p} = c_v \cdot m \cdot R \cdot d\vartheta$$

Fassen wir nun aber die allgemeine Versuchsanordnung ins Auge, dass der Druck des Gases ein Flüssigkeits-Niveau vertikal herabdrücke, und zwar in einem gewissen Momente um $h_i$. Dann ist bei dem Querschnitt dieses Gefässes gleich $f_i$,

$$\mathfrak{v} = f_i \cdot h_i \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

In dem kommunizierenden äusseren Steigrohre vom Querschnitt $f_a$ wurde gleichzeitig das Niveau hinaufgedrückt um $h_a$. Es ist dann:

$$f_i \cdot h_i = f_a \cdot h_a \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Die Niveaudifferenz zwischen beiden Schenkeln folgt gleich $(h_i + h_a)$; nennen wir $s$ das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, so ist im gebräuchlichen technischen Gewichts-Mass-System der Ueberdruck im Innern des Gases:

$$\mathfrak{p} = s \cdot (h_i + h_a)$$

und bei Benutzung von (8):

$$\mathfrak{p} = s \cdot \left(1 + \frac{f_i}{f_a}\right) \cdot h_i \ldots\ldots \quad (9)$$

Hieraus und aus (7) folgt nach (4):

$$\beta = \frac{\mathfrak{p}}{\mathfrak{v}} = s \cdot \left(\frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_a}\right) \ldots\ldots (10)$$

In diesem Ausdrucke kommen $f_i$ und $f_a$ ganz gleicherweise vor, sodass es also für den Vorgang ganz gleichbedeutend ist, ob ich das Gas auf einen grossen Querschnitt $f_i$ abwärts drücken lasse und die Flüssigkeit in einem äusseren Steigrohre vom kleinen Querschnitt $f_a$ in die Höhe getrieben wird. oder umgekehrt; wie auch leicht zu verstehen.

Ist entweder $f_i$ oder $f_a$ sehr klein, so wird nach (10) $\beta$ sehr gross, und wir erhalten wie auf vor. S., letzte Zeile, den Grenzfall konstanten Volumens.

Kehren wir zurück zu beliebigem Querschnittsverhältnis $f_i : f_a$. Bei einer endlichen Gesamtausdehnung müssen wir die Gleichung (5) noch integrieren. Dazu schreiben wir sie:

$$R \cdot dQ = (c_v \cdot \beta \cdot V_0 + c_p \cdot p_0) d\mathfrak{v} + (c_v + c_p) \cdot \beta \cdot \mathfrak{v} \cdot d\mathfrak{v}$$

woraus durch Integration von $\mathfrak{v} = 0$ bis $\mathfrak{v} = \mathfrak{V}$:

$$R \cdot \int dQ = (c_v \cdot \beta \cdot V_0 + c_p \cdot p_0) \mathfrak{V} + \frac{1}{2}(c_v + c_p) \cdot \beta \cdot \mathfrak{V}^2 \quad (11)$$

Wenn $c_p$ für das betreffende Gas bekannt ist, z. B. aus einem Versuche wie auf pag. 143 letzte Zeilen besprochen, so ergibt ein zweiter Versuch mit einer Versuchsanordnung wie die vorstehend besprochene aus Gleichung (11) den Wert von $c_v$. Und zwar mit um so grösserer Sicherheit, je grösser $\beta$ und je grösser $V_0$ ist, da desto mehr die Glieder mit $c_v$ den anderen gegenüber ins Gewicht fallen. Also muss man nach (10) am besten $s$ gross, und sowohl $f_i$ als $f_a$ möglichst klein wählen.

Herr Dr. Oskar Richter, dem als Assistenten ieh die Leitung der Arbeit von Herrn Karl Küster übertragen hatte, hat mir mitgeteilt, dass er nach der gemeinsamen Besprechung der zunächst projektierten Versuche unabhängig von mir auf den Plan ähnlich beabsichtigter möglicher Versuchsanordnungen mit Verwendung eines Flüssigkeitsmanometers gekommen sei, wie ich sie im Vorstehenden erwähnt habe. Ich habe ihm die Ausführung überlassen.

---

Weiter hielt Herr Wegener einen Projektionsvortrag über die Mylius-Erichsen-Expedition, an der er als meteorologischer Beobachter beteiligt gewesen war.

---

Aufgelegte Schriften:

Un. States Geolog. Survey. Bulletin 352-355, 357-359, 361-367.
Water-Supply Papers No. 221 u. 226. Washingt. 1909.
„ „ „ 29. annual Report. 1908.
„ „ „ Mineral Resources. 1907, pt. I u. II. 1908.
„ „ „ Professional Papers No. 58, 60, 61, 63. 1908 u. 1909.
Missouri Bureau of Geology and Mines. Vol. V, 2. ser. u. vol. VI, 2. ser. Rolla 1907.
Memoirs Mus. Comparative Zoology. Harvard College, Bd. 37. Cambridge 1909.
Bulletin Mus. Compar. Zool. Harvard Coll. Bd. 52, No. 8, 1909.
Brooklyn Institute Arts and Sciences. Cold Spring Harbor Monographs VII. Brooklyn 1909.
Proceed. Boston Soc. Natural History. Bd. 34, No. 1—4. Boston 1907—1909.
Boston Soc. Nat. Hist. Occasional Papers. No. 8, 9, 10. Boston 1908.
Proceed. Ac. Natur. Sciences. Philadelphia. Bd. 60, 3 u. 61, 1. 1908 u. 1909.
Proceed. Amer. Philosoph. Soc. Philadelphia. Bd. 47, No. 190. 1908.
Proceed. Amer. Acad. Arts and Sciences. Bd. 44, Nr. 11—17. Boston 1909.
Amer. Naturalist. Vol. 43, Nr. 509, 510. 1909.
Field Columbian Museum. Public. 129, Bd. 3, No. 7. Chicago 1908.
Field Museum of Natural Hist. Publ. 133, Bd. 3, No. 3. Chicago 1909.
Journal Elisha Mitchel Scientif. Soc. Bd. 25, No. 1. Chapel Hill 1909.
Bulletin Scientif. Laboratories. Denison University. Bd. XIV, Arts 6—10. Granville, Ohio. 1909.
Bullet. New York Publ. Library. Bd. 13, No. 5 u. 6. N. York 1909.
University Studies, publ. by Univers. of Nebraska. Bd. 9, No. 1. Lincoln 1909.
Canada Departement of Mines, Geological Branch: Collins: Prelim. Report Gowganda Mining Division. Ottawa 1909.
Dasselbe: Summary Report 1908. Ottawa 1909.
Geological Survey of Canada.
1. Map of part of Hudson Bay. 1905.
2. Geological Map of Hastings etc. Counties, Prov. Ontario.
3. Shuswap Sheet, Brit. Columbia. Geolog. Karte. 1898.
4. Dasselbe, topogr. Karte. 1898.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 6 Juli 1909


In der Sitzung vom 28. Juli sprach Herr Bergengrün über:

### „Epithelperlen" und Epithelstränge in der Raphe des harten Gaumens.[1])

Meine Herren! Gestatten Sie mir, Ihnen in gedrängtester Kürze die Resultate von Untersuchungen vorzuführen, welche ich in letzter Zeit auf Anregung des Herrn Professor Beneke angestellt habe.

Sie betreffen jene kleinen Gebilde, die wir in der Raphe des harten Gaumens bei Embryonen und Neugeborenen als kleine gelbliche Knötchen wahrnehmen können.

Dieselben sind als „Epithelperlen" (erstmalig von Reubold[2]) anno 1854) beschrieben worden und als solche allgemein bekannt.

Makroskopisch erscheinen sie tatsächlich als Perlen, oder, wie Bohn[3]) sagt, „wie unter das Epithel geschobene Getreidekörner".

---

1) Erscheint ausführlich im Archiv f. Enwicklungsmech. von W. Roux.

2) Reubold: Beitr. z. Lehre von Soor. Virch. Arch. Bd. 7, 1854 S. 92.

3) H. Bohn: D. Mundkrankheiten d. Kinder. Cap. IV: D. Follicular-tumoren. Leipzig 1866.

Sie haben die Grösse eines Mohn- oder Hirsekornes oder eines Stecknadelkopfes oder sind noch etwas grösser; — sie sind von gelbweisslicher oder grauweisser Farbe und festweicher Consistenz. Sie ragen oft ein wenig über das Niveau der Mucosa hervor und lassen sich nicht herausheben. — In das Gewebe der Raphe eingebettet, sind sie streng an die Mittellinie gebunden und erstrecken sich, vorne nahe dem foramen incisivum beginnend, in dem sie eine longitudinale Rosenkranzkette bilden oder als eine Reihe isolierter, hintereinander gestellter Knötchen (2—6), bis zur Grenze des harten und weichen Gaumens, wo diese Reihe gewöhnlich durch ein Conglomerat von mehreren confluierenden Perlen abgeschlossen wird.

In dieser Weise werden die „Epithelperlen" von den wenigen Autoren, die sich mit ihnen befasst haben, im wesentlichen übereinstimmend beschrieben.

Auch darin sind fast alle einig, dass es sich hier um physiologische Gebilde handeln müsse, die aus dem Foetalleben stammen, und dass ihre Bildung intra vitam nicht vorkomme. Je jünger das Individuum ist, um so deutlicher und grösser sind diese Gebilde und um so zusammenhängender erscheint die Kette dieser Perlen; — je älter das Kind wird, um so spärlicher werden sie angetroffen; spätestens im Laufe des 3. Lebensjahres sind sie vollkommen verschwunden.

Im weichen Gaumen fehlen die Epithelperlen überhaupt immer.

Allgemein wird die grosse Häufigkeit ihres Vorkommens betont: Epstein[1]) vermisste sie makroskopisch in 18% der von ihm gesehenen Fälle, Bohn[2]) in einer „an Ausnahme grenzenden Minorität."

---

1) A. Epstein: Ueb. Epithelperlen in d. Mundhöhle neugeborener Kinder. Zeitschr. für Heilkunde Bd. I; S. 59—94, 1880.

2) a. a. O. S. 49.

Den eben skizzierten Angaben der Autoren muss ich mich im allgemeinen anschliessen; nur eine, aber wesentliche Einwendung habe ich zu machen: Es handelt sich hier nämlich **nicht** um **isolierte** Gebilde, **nicht um Perlen,** sondern um lange, zylindrische, **fortlaufende Stränge,** wie es sich mir aus einer Anzahl von Serienschnitten ergeben hat. Diese Stränge treten, da sie sich in vertikaler Richtung schlängeln, streckenweise so nahe an die Oberfläche, dass sie durch die Epitheldecke abgegrenzt hindurchschimmern: diese Teilstrecken erscheinen dann wirklich als rundliche oder ovale „Perlen".

Meine in Serien geschnittenen zwölf Gaumenpräparate stammen aus der Zeit vom 5. Fötalmonat bis zum Lebensalter von 4 Jahren des Kindes. Das älteste Kind, in dessen Gaumennaht ich mikroskopisch noch Reste von Epithelsträngen nachweisen konnte, war $2^1/_2$ Jahre alt, während ich bei anderen, etwas jüngeren Kindern ($1^1/_2-2$jährigen) keine solche mehr finden konnte.

Ich will mir nun erlauben, Ihnen das allgemeine Ergebnis meiner Uutersuchungen mitzuteilen und auf Einzelfälle nur einzugehen, wo es zum Verständnis des Ganzen nötig ist: eine genaue Beschreibung der einzelnen Fälle würde den Rahmen der mir zugemessenen Zeit in zu ausgedehntem Masse überschreiten.

Die erwähnten, im allgemeinen walzenförmigen Stränge weisen die Zusammensetzung des Oberflächenepithels auf: Basale Zylinderzellenzone, — Stratum Malpighi von polygonalen Zellen, — und Hornzellenschicht in der Achse des Stranges; deshalb können wir sie Epithelstränge nennen. Dieselben erstrecken sich, wie erwähnt, in der Gegend des foram. incisivum beginnend, in sagittaler Richtung, die Mittellinie innehaltend, nach hinten bis zur Grenze des palat. durum et molle.

Ihr im allgemeinen kreisrunder oder ovaler Querschnitt weist oft unvermittelte Aenderungen in der Form auf:

Vorsprünge, Spitzen und Ecken; die Gestalt einer solchen Epithelscheibe, d. h. des Strangquerschnittes, geht oft plötzlich aus der Kreisform in die Eiform über; auch die Achse des Durchschnittes ändert sich oft, indem sie allmälig oder mehr unvermittelt aus der vertikalen in die horizontale Ebene umspringt. So entstehen Knickungen, Buchten und Schlängelungen.

Die Stränge können einfach oder verästelt sein; sie können sich in zwei oder mehrere Züge teilen, die sich wieder vereinigen. Dieses kann sich an einem Strange mehrfach wiederholen. — Es gehen aber auch oft Aeste von einem Stamme ab, die als freie Ausläufer, meist zu feinen dünnen Epithelfäden ausgezogen, ganz spitz, — selten kolbig breit, — frei im Bindegewebe endigen.

Die Aeste gehen der Regel nach unter sehr spitzem Winkel vom Stamme ab, — selten mehr stumpfwinklig oder bogenförmig; in jedem Falle aber biegen sie möglichst bald in die Mittellinie ab, um mit dem Mutterstrange parallel in der Raphe zu verlaufen.

Die Epithelstränge stehen mit dem epithelialen Integument der Raphe in organischem Zusammenhange vermittelst besonders gestalteter Verbindungsbrücken, nämlich taschen- oder trichterförmiger Einstülpungen der Raphe-Epitheldecke. Sehen wir an einer Stelle eine Epithelscheibe frei im subepithelialen Bindegewebe über dem Integument liegen, so nähert dieselbe sich dem letzteren in den folgenden Schnitten bis zu tangentialer Berührung der basalen Zylinderzellenzonen der Scheibe und der Decke; weiter verbinden beide sich miteinander organisch derart, dass die Basalzone und Polygonalschicht continuierlich von der Decke her, die Scheibe umgreift, mit Ausnahme des erwähnten tangentialen Berührungspunktes: hier öffnet die Epitheldecke sich von oben her und stellt auf diese Weise eine freie Kommunikation des Scheibenzentrums mit der Aussenwelt, hier dem cavum oris, her: aus der Oeffnung

einer so entstandenen Ω förmigen Einstülpung des Epithels entleert sich der axiale Inhalt des Stranges, die Masse der verhornten Zellen, nach aussen, wie etwa eine Feuerflamme aus dem Schlot. Bald schliesst sich (nach 10—100 μ), die Oeffnung wieder, — und wir haben eine kleinere oder grössere Krypte mit steilem oder flacherem Randabfall vor uns. Die Anzahl dieser Ω-förmigen Krater betrug in meinen Fällen 2—10 an einem Gaumen; in den jüngeren Entwicklungsstadien mehr, in den älteren weniger an Zahl, verschwinden sie bei den ältesten Individuen ganz. — Ich fand diese Verbindungsbrücken ausschliesslich in der vorderen Hälfte des harten Gaumens. — Klaffend erhalten wird ihr lumen durch die dasselbe beständig passierenden Hornzellen.

Betrachten wir nun die nächste Umgebung der Epithelstränge, so fällt uns eine in allen Fällen ganz konstante Beziehung in die Augen, welche sie zu dem bindegewebigen Teil der Raphe haben.

Der Querschnitt des fötalen oder jugendlichen palatum durum zeigt uns im allgemeinen folgende Verhältnisse, wie ich sie hier schematisch angebe:

Sie sehen hier die bindegewebige Raphe: eine Bindegewebsplatte, die sich als schmales Band in der Mittellinie von der verdünnt und wie gereckt erscheinenden und der Zapfenbildung entbehrenden Epitheldecke zwischen die Gaumenplatten bis zum Septum narium erstreckt; Fortsätze gehen von ihr ab und umgreifen zangenartig das Septum und die Gaumenplatten. In diese Bindegewebsplatte eingebettet findet sich die Epithelscheibe (vergl. Fig. 1) genau in der Mittellinie.

Fig. 1.

In einzelnen Fällen wird die Scheibe von besonderen Zellzügen, die der bindegewebigen Raphe entspringen und die von dem übrigen Bindegewebe des Gaumens scharf ab-

gegrenzt sind, kreisförmig oder in Gestalt eines Dreiecks, — manchmal nur in ihrer oberen Peripherie halbkreisförmig, umschlossen.

Wohl zu unterscheiden von diesen der bindegewebigen Raphe angehörenden Zellzügen sind fibröse Scheiden, die sich vielfach in grösseren Strecken eng den Epithelsträngen anlagern und als „tunica propria“ derselben erscheinen: während der bindegewebige Grundstock der Gaumennaht in meinen jüngeren Präparaten noch ein lockeres, embryonales Gefüge besitzt, zeigt diese Strangscheide ein differenziertes, festes Bindegewebe von deutlich fibrillärem Bau. Diese fibröse Scheide ist wohl als das Produkt jener den Epithelzellen vererbten, eigentümlichen, formativen Kraft aufzufassen, welche beim Aufbau der Organe von den Epithelien ausgeht und die mit ihm zusammentreffenden Gewebe formend und umbildend beeinflusst. Die von der bindegewebigen Raphe ausgehenden, die Stränge mehr oder weniger vollständig umschliessenden Zellzüge haben mit jenen Scheiden nichts gemein.

Aber auch dort, wo die scharfe Ausprägung dieser Einkreisung fehlt, ist die Beziehung des Stranges zur bindegewebigen Raphe immer dieselbe: er erscheint in die von der unteren Kante des Vomer zum epithelialen Nahtverschluss ziehende bindegewebige Raphe eingebettet, gleichlaufend mit ihr, von vorne nach hinten ziehend und von vorne nach hinten sich vergrössernd und seine Aeste ausbreitend, so dass ein Ausweichen aus der bindegewebigen Raphe zur Seite im Verlauf des eigentlichen Stranges nicht stattfindet, — nur an seinem Hinterende zeigen die Abzweigungen gelegentlich seitlich angeordnete Gruppierung, symmetrisch zu beiden Seiten und in möglichster Nähe der Mittellinie.

Hier, m. H.! sehen Sie die Abbildung eines nach der Born'schen Plattenmethode[1]) gefertigten Wachsmodells

1) G. Born, Arch. f. mikroskop. Anatomie. Bd. 22, S. 584, 1883.

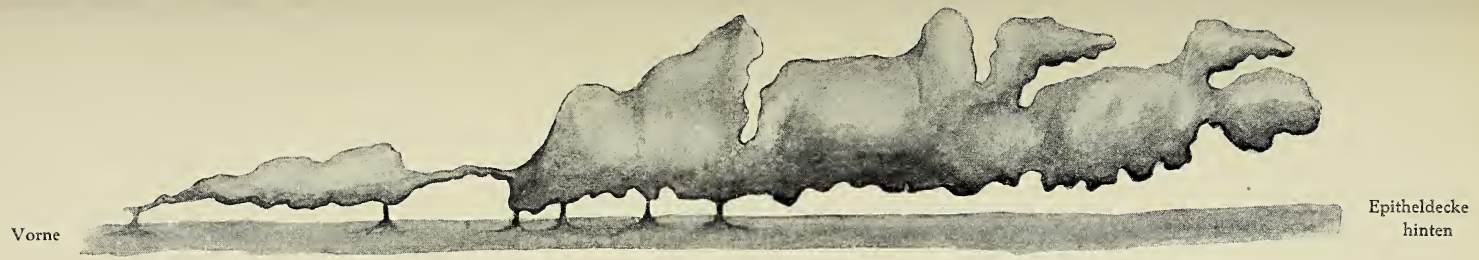



Fig. 2.
Wachsmodell eines Epithelstranges; natürl. Grösse 3,05 mm.

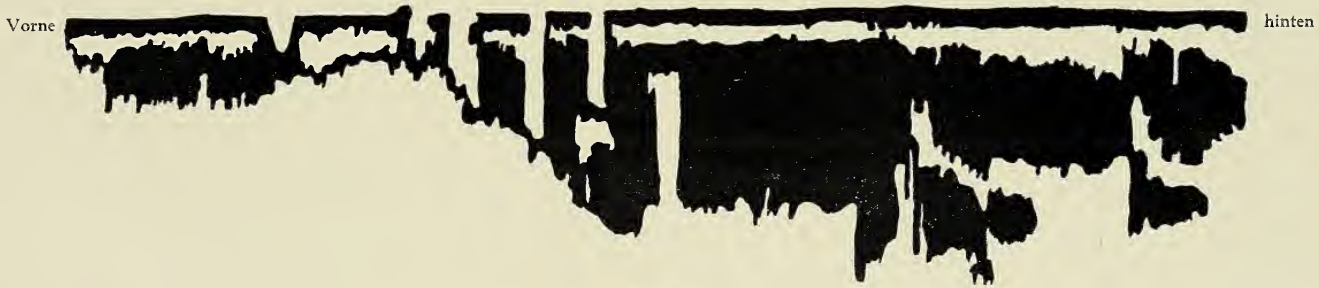



Fig. 3.
Medianschnitt durch das Modell.

von einem Epithelstrange. Dasselbe ist, mit Weglassung aller feineren Details, wie Zacken und Vorsprünge, halbschematisch angefertigt, um eine körperliche Vorstellung des Stranggebildes zu geben (Fig. 2).

Fig. 3 zeigt die Abbildung eines auf Millimeterpapier gezeichneten Medianschnittes vom selben Wachsmodell, sowie die Verhältnisse des Stranges in seinen Beziehungen zum Integument und zu seinen Verzweigungen.

In natura betragen die Masse:

| | |
|---|---|
| Länge des Strangstückes . . . . . | 3,05 mm |
| Dicke des Oberflächenepithels . . . . . | 0,03—0,05 „ |
| Abstand des Stranges von der Decke. . . | 0,01—0,17 „ |
| Dicke der Scheiben . . . . . | 0,02—0,6 „ |
| Grösste Tiefe einer Epitheleinstülpung . . . . | 0,5 „ |

Ueber einen Epithelstrang aus einem anderen Objekt will ich nur kurz folgendes berichten: Seine Länge beträgt, soweit er in die Schnittserie gefallen ist, 4,46 mm, seine Gesamtlänge dürfte ungefähr ½ cm ausmachen. Das Stranggebilde breitet sich mit seinen Aesten von vorne nach hinten aus; — an der Grenze zwischen hartem und weichem Gaumen finden sich bis zu sieben Epithelscheiben resp. Stränge auf einem Durchschnitt: das ist die Stelle, wo makroskopisch das Knötchenkonglomerat die longitudinale Kette abschliesst. Sie alle gruppieren sich möglichst nahe zur Mittellinie.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die gleich zu besprechende Genese der Epithelstränge ergiebt sich ferner aus der Betrachtung der Querschnitte in allen meinen Präparaten in dem Verhalten der Stränge zu den Drüsen. Nirgends lässt sich ein Zusammenhang zwischen beiden nachweisen: wo Strang und Schleimdrüse ein Mal einander räumlich nahe rücken, sehen wir, dass der Strang den Drüsengang von sich abwehrt, ihn umbiegt, aber an keiner Stelle gehen sie irgend eine Vereinigung mit einander ein.

In keinem Schnitte finden sich irgend welche Drüsenbestandteile in dem Stranggewebe.

### Genese des Epithelstranges.

Um die Bildung dieser Formen zu verstehen, müssen wir versuchen, uns über die Genese des Epithelstranges klar zu werden. In der Litteratur finden wir zumeist die Ansicht vertreten, dass die „Epithelperlen“ Retentionscysten seien, die aus Schleimdrüsen hervorgingen.

Soviel diese Anschauung äusserlich auch für sich zu haben scheint, so sprechen doch folgende Umstände, die schon 1880 von Epstein[1]) betont wurden, dagegen: 1) kommen „Epithelperlen“ — also die Stränge, — nur in der Raphe oder in ihrer nächsten Nähe vor, woselbst es keine Drüsen giebt; 2) werden (nach Kölliker) die Drüsen im vierten Fötalmonat gebildet, während Epstein bereits im dritten Monat „Epithelperlen“ fand; 3) werden, was auch die älteren Autoren zugeben, niemals irgendwelche Drüsenpartikel in diesen Epithelgebilden gefunden. Epstein vertrat dagegen folgende Anschauung: die Epithelsäume der Gaumenplatten legen sich bei der Nahtvereinigung longitudinal aneinander, wobei sich varicöse Ausbuchtungen bilden, — über diesen schliesst sich die Naht, und in diesen eingeschlossenen Hohlräumen werden die älteren Zellen bei weiterer Proliferation durch Apposition dem Zentrum zugedrängt, woselbst sie verhornen.

Gegen diese Theorie spricht aber der Umstand, dass sich die Epithelstränge ausschliesslich im harten Gaumen finden: Denn, da wir wissen, dass die Gaumenspalte sich zuerst vorne und zuletzt hinten schliesst, müssten die Inclusionen doch am kräftigsten und frischesten hinten, also im weichen Gaumen zu finden sein. Dies ist aber nicht der Fall; hier fehlen sie immer, — ebenso wie an den

1) a. a. O. S. 66.

Nähten anderer einfacher Weichteile, z. B. am Scrotum. Das deutet doch schon a priori darauf hin, dass zur Bildung von Epithelsträngen das einfache Zusammentreten zweier Weichteilplatten nicht genügt: es muss noch etwas anderes hinzukommen, das die Bildung und das Wachstum solcher Stränge begünstigt.

Fehlt mir nun auch zu meinem Bedauern das Material aus den jüngsten Entwicklungsstadien, um Ihnen über die Verhältnisse der ersten Anlage der Epithelstränge aus direkter Anschauung der anatomischen Tatsachen berichten zu können, so lassen sich doch auch aus meinen Serien sehr wohl Schlüsse auf die Anfangsstufen und die weitere Entwicklung dieser Gebilde ziehen:

Ich muss annehmen, dass die **Wachstumsbegünstigung** für den Epithelstrang **räumlicher Natur** ist und dass sie durch einen aus zwei Komponenten zusammengesetzten **Zug** geschaffen wird, welcher auf den Strang in der Richtung nach **hinten** und nach **oben** einwirkt. —

Dass die Strangbildung von vorne nach hinten sich entwickelt, zeigen unsere Abbildungen deutlich; diese ihre Verlaufsrichtung ist offenbar abhängig von dem Zuge, der das umgebende Bindegewebe anspannt; dieser Zug aber wird durch das sich von vorn nach hinten bewegende Längenwachstum des ganzen Gaumens bewirkt. —

Der Zug nach oben geht von dem Nasenseptum aus und wird durch die den Strang bergende bindegewebige Raphe vermittelt, welche die Innenseiten der Gaumenplatten und die epitheliale Raphe mit dem Septum verbindet: dieses spielt dabei sozusagen die Rolle des festen Punktes, zu dem die Gaumenplatte, sowie auch der Strang, hinaufgezogen wird. Durch diesen Zug wird nun in der epithelialen Raphe eine Art Entspannung zu Wege gebracht: ein Teil des hier in grossem Ueberschuss vorhandenen Zellenmaterials senkt sich in die Tiefe und liegt, — nach meiner Vorstellung, an-

fangs in flächenhaftem Zusammenhange mit dem Epithel der Raphe, — in ganzer Länge dicht unter der letzteren.

Derselbe Zug fixiert den Strang an die bindegewebige Raphe, sodass das wachsende umgebende Bindegewebe sich nicht zwischen beide eindrängen kann: so wird der Strang in der Tiefe zurückgehalten. —

Der Zug nach hinten aber verbietet zu gleicher Zeit dem Strang und seinen Aesten ein Ausweichen zur Seite hin: daraus erklärt sich sein sagittaler Verlauf in der Mittellinie.

Demnach wäre denn das Septum narium (Vomer) ein wesentliches Bedingniss für die Anlage, Entwicklung, Lagerung und Konfiguration des Epithelstranges und seiner Aeste.

### Rückbildung des Epithelstranges.

Die Entwicklung der Epithelstränge steht zum Alter des Kindes in umgekehrt proportionalem Verhältnis: je jünger das Kind, um so kräftiger sind die Strangbildungen ausgesprochen.

Spätestens im Laufe des 3. Lebensjahres, — in der Regel aber schon früher, — ist der Strang bis auf den letzten Rest verschwunden.

Wie kommmt nun der Schwund der Epithelstränge zu Stande?

Wir können mit Wilhelm Roux[1]) zwei „Kausale Hauptperioden“ des embryonalen Lebens annehmen. 1. die Periode des „embryonalen Wachstums κατ' ἐξοχήν“, in der die erste Anlage und Formgestaltung der Organe geschieht ohne eine sonstige besonders hervortretende Funktion der Zellen und 2. die Periode der „funktionellen Gestaltung“ welche „durch die Ausübung der eigenen Funktion

1) Wilh. Roux: Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik, Heft I 1905, S. 94 ff.

der Organe“ geschieht und charakterisiert ist. Diese beiden Perioden sind nicht scharf von einander getrennt, sie gehen vielfach in einander über und können in den verschiedenen Zellen und Zellgruppen zu ganz verschiedenen Zeiten zur Geltung gelangen; sie können auch nebeneinander bestehen, indem die eine Periode allmälig abklingt, während die andere gleichzeitig schon in den Vordergrund zu treten beginnt.

In der ersten dieser Perioden bildete sich der Strang durch die seinen Zellen, wie denen des übrigen Epithels vererbten embryonalen Wachstumsenergie. Die Wachstumsenergie ist in allen Zellen die gleiche, ob sie nun der allgemeinen Decke, dem Rapheepithel oder dem Strange angehören. Dass sie in den Strangzellen eine pathologisch gesteigerte sei, haben wir keinen ersichtlichen Grund anzunehmen, — auch nicht angesichts der so sehr kräftigen Entwicklung der Stränge.

Diese Energie selbständigen Wachstums dokumentieren die Elemente des Stranges in mannigfacher Weise: die vollwertige Ausbildung der Einzelzelle, sowie die histologische Zusammensetzung des Stranges und die Produktion des physiologischen Endstadiums der Epithelien, der Hornschüppchen unter Bildung von Keratohyalin, — ebenso die starke kleinzellige, reaktive Wucherung des umliegenden Bindegewebes nebst Gefässbildung, — alles das sind Zeichen dafür. Wie gross die Kraft der Stränge unter Umständen sein kann, mit der diese ihren Platz zu erobern und zu behaupten wissen, zeigte mir in einer grösseren Reihe von Schnitten die Bildung von Osteoklasten und Howshipschen Lakunen des Gaumenknochens an solchen Stellen, wo dieser dem Drucke des wachsenden Stranges ausgesetzt war. —

Endlich findet die Wachstumsenergie auch noch einen Ausdruck in dem Einfluss, den die Stränge auf die Plastik der äusseren Raphe auszuüben im Stande sind. In manchen Fällen und in sehr zahlreichen Schnitten ist die äussere Konfiguration der Raphe in minutiösester Weise von

der Form und Grösse, von der räumlichen Nähe und der Oberflächengestalt des Epithelstranges abhängig; in anderen Fällen liessen sich solche Beziehungen hingegen durchaus vermissen. Zur Aufstellung einer festen Regel über die Abhängigkeit der Plastik der Raphe vom Epithelstrang wäre eine grössere Reihe von Untersuchungen erforderlich. —

Die Wachstumskraft der Strangzellen erlahmt nun, wie wir annehmen müssen, zu einer gewissen Zeit, die Apposition neuer Zellen bleibt aus und demgemäss ist, — bei kräftigen Kindern früher, bei schwächlichen später, — bei Neugeborenen und mehrmonatlichen Kindern die Hornzellenbildung im Gaumenstrange nur noch eine ganz spärliche, oder sie fehlt bereits ganz. An Stelle walzenförmiger Stränge haben wir in diesen älteren Stadien flache Epithelbänder vor uns, die ganz kurz und unverästelt sind. Die Ω-förmigen Oeffnungen der Decke flachen ab, erscheinen nur noch als seichte Dellen und verschwinden dann: sie haben nun keinen Zweck mehr, da die Hornmassen fehlen, zu deren Entleerung sie dienten, und da nun auch der sie einstülpende Zug der wachsenden Stränge ausbleibt, so füllen sie sich allmälig aus. Dagegen bildet nun die Mucosa im Gebiete der Rapheepithele auch Papillen, und die kurzen Stränge erweisen sich nur noch als Fortsetzungen der jetzt hier auftretenden Zapfen des Epithels. — Kurz, die Weiterentwicklung der eigentlichen Epithelstränge hat aufgehört. Die einmal gebildeten aber verfallen der Rückbildung und Resorption: Die erste Hauptperiode des ersten Wachstums ist in den Hintergrund getreten zu Gunsten der zweiten Periode, des Stadiums der Funktion. Das ist der Wendepunkt im Geschick des Epithelstranges: das Bleibende, Leistungsfähige entwickelt sich zu feinerer Ausgestaltung — das funktionell Minderwertige muss verschwinden, dem Kausalgesetze der Inaktivitätsatrophie gehorchend. Das Gaumenepithel übernimmt die Leistung des Schutzes und der Auskleidung mit all den dazu gehörenden physikalischen und chemischen Aufgaben, — das

Strangepithel dagegen erscheint jeder physiologischen Funktion entrückt: damit fehlt ihm jeder weitere Anreiz als Bedingung seiner Existenz; da auch seine embryonale Wachstumsenergie erloschen ist, so muss er aus innerer Notwendigkeit der Atrophie und Resorption, d. h. völligem Schwunde anheimfallen.

Die Rückbildung der Epithelstränge beginnt schon zu sehr früher Zeit. Ein Gaumenpräparat aus dem 5. Fötalmonat zeigte mir bereits vielfach Abschnürungen, d. h. Unterbrechung der Kontinuität des Epithelstranges, feinfädige Ausziehungen und Spitzen an den Strangenden; diese feinen Spitzen deuten auf Abschmelzung des Epithels hin; sie werden, wie alle verdünnten Strangpartien, durch Bindegewebe mehr und mehr ersetzt.

Der Vorgang der Abschnürung war es, der dem — wie ich es mir denke — anfänglich flächenhaft dem Rapheepithel verbundenen Strange jene Form gab, die Sie im Modellbilde sahen: es ist in der Hauptsache noch immer ein einheitlicher Strang, aber nur noch durch einzelne Verbindungsbrücken mit dem Mutterboden vereinigt; in grossen Strecken hat sich Bindegewebe zwischen beide geschoben und die ursprünglich flächenhafte Verbindung durchlöchert. Unter immer fortschreitender Aufteilung und Verdünnung des Stranges verschwindet derselbe endlich ganz und gar.

Nicht so einfach wie die Auflösung der lebenden Strangelemente vollzieht sich die Elimination der toten Massen, der Hornzellen. Ein Teil von ihnen wird ja wohl zum Beginn der Rückbildung des Stranges noch durch die Ω-förmigen Krateröffnungen entleert werden können, — aber gewiss doch nur der kleinste Teil!

An zwei Präparaten konnte ich in meinen Serien nun den Weg sehen, auf dem auch die Hornmasse der Resorption zugänglich gemacht wurde.

Im ersten Falie ist das stratum germinativum so atrophisch geworden, dass es, offenbar dem Innendrucke der

axialen Hornmasse nachgebend, an mehreren Stellen platzte: hier treten nun die Hornschuppen in unmittelbaren Kontakt mit dem Bindegewebe; dasselbe reagiert auf den Reiz dieser Fremdkörper durch Bildung von Riesenzellen und Lymphozyten, welchen die Fortschaffung der Hornschüppchen obliegt.

Einen ganz ähnlichen Vorgang der Ruptur hat Professor Beneke[1]) bei Cholesleatoma cerebri beobachtet, wo sich auch massenhafte Riesenzellen zur Resorption des Geschwulstinhaltes einfanden.

Im zweiten Falle fehlten bei mir die Riesenzellen; dafür traten aber die Lymphozyten in solcher Menge auf, dass schliesslich am Ende des Stranges, an welchem hier die Berührung von Horn- und Bindegewebszellen stattfand, ein richtiger Follikel lymphozytären Gewebes zu sehen war.

Warum sich dieser Resorptionsweg für die Hornzellen in 12 Schnittserien nur zwei Mal finden liess, ist eine Frage, die ich Ihnen nicht beantworten kann. Sie erweckt die Vermutung, dass es doch noch andere, der direkten Beobachtung weniger leicht zugängliche Wege geben müsse, auf dem die Hornzellen den Körper verlassen können. —

---

Zum Schlusse will ich das Hauptergebnis meiner Untersuchung in zwei Sätzen zusammenfassen:

1. Ich habe die Ueberzeugung gewonnen, dass die Epithelstränge in der normal geschlossenen Raphe des harten Gaumens regelmässig bei jedem menschlichen Embryo vorkommende Gebilde sind.

Wie die Epithelverlältnisse in den Rändern einer Gaumenspalte liegen, darüber besitze ich keine Erfahrung.

---

1) R. Beneke: Zur Frage der meningealen Cholesleatome, Virch. Arch. Bd. 149, S. 95 ff. 1897.

Ich glaube indessen, dass hier keine Stränge zu finden sein werden, da, wie ich anführte, meiner Ansicht nach das Septum narium eine wesentliche Rolle bei der Anlage und Entwicklung der Stränge spielt: der vom Vomer ausgehende Zug auf die Raphe fällt hier eben fort.

2. Der Schwund der Epithelstränge ist ein absoluter.

Bedarf der erste Satz noch der Bestätigung durch eine grössere Reihe von Untersuchungen und hätte derselbe dann wohl ausschliesslich entwicklungsgeschichtliche Bedeutung, so kommt dem zweiten ein mehr oder weniger praktisches Interesse zu: denn er enthält die Bestätigung und Begründung der Erfahrungstatsache, dass in der Raphe des harten Gaumens keine (oder doch nur sehr selten) Tumoren, zumal epithelialer Natur, angetroffen werden.

Dieses Faktum aber festzustellen, ist, meine ich, nicht unwichtig, besonders der Ribbert-Cohnheimschen Geschwulsttheorie gegenüber. Wenn diese lehrt, dass das primum movens bei der Karzinombildung die Verlagerung epithelialer Keime sei, welche sich sekundär pathologisch verändern, so widerspricht solcher Anschauung die Erfahrung, welche ich mit meinen Epithelsträngen machte. So zahlreiche Abschnürungen von Epithelzellgruppen, wie sie die Rückbildungsstadien der Stränge zeigen, wie sie ebenfalls Robert Meyer beim embryonalen Uterus im Anschluss an die Verschmelzung der Müllerschen Gänge beobachtet hat, müssten nach Ribbert unbedingt zu Prädilektionsstellen für Krebsbildung werden: dagegen wissen wir aber, dass weder aus den Robert Meyerschen Zellgruppen, noch aus meinen Epithelsträngen sich Tumoren in einer der Häufigkeit dieser Absprengungen auch nur annähernd entsprechenden Zahl entwickeln. — Die Zellverlagerung als primäre Ursache genügt also offenbar nicht für die Erklärung der Genese von Tumoren. Vielmehr müssen wir uns Hanse-

mann[1]) anschliessen, wenn er sagt: „Die Zellveränderung betrachten wir als das Primäre bei der Karzinombildung und durch diese Veränderung werden die Zellen befähigt, falls sie abgeschnürt werden, in der Tiefe und nach der Tiefe weiter zu wuchern.“ Auch haben Hauser, Hansemann und Beneke darauf hingewiesen, dass das Wesentliche in dem Charakter der Tumorzellen nur eine über die physiologische Norm gesteigerte Wachstumsfähigkeit etwa verlagerter Zellen — bei gleichzeitig fehlender oder stark herabgeminderter funktioneller Differenzierung derselben — sein könne. Diese pathologisch gesteigerte Kraft gibt den Tumorzellen die Möglichkeit, im Raumkampfe mit den funktionell hochwertigen, kräftigen Zellen der Nachbargewebe zu bestehen und zu siegen.

Ich muss mir ein näheres Eingehen auf dieses hochinteressante Problem leider versagen, möchte aber doch nicht unterlassen, an dieser Stelle auf die eingehende Erörterung hinzuweisen, welche diese Frage durch Professor Beneke[2]) in dessen Arbeit über das Wesen der Abschnürung erfahren hat. —

1) Hansemann: Die mikroskop. Diagn. d. bösart. Geschwülste. 2. Aufl. Berlin 1902.

2) R. Beneke: Die Entstehung der kongenitalen Atresie der grossen Gallengänge; nebst Bemerkungen üb. den Begriff der Abschnürung. Programmschrift z. feierl. Einführung d. neuen Rektors d. Universität Marburg, 1907, bei Joh. Aug. Koch.

Weiter sprach Herr E. Take:

## Ueber die Verwendung magnetisierbarer Heusler'scher Schmiedebronzen in elektrischen Messinstrumenten.

Im Jahre 1898 entdeckte Herr Dr. Fr. Heusler[1]) die nach ihm benannten ferromagnetisierbaren ternären Manganlegierungen, die bekanntlich aus Mangan, Aluminium und Kupfer zusammengesetzt sind. Die Hoffnungen, welche sich bezüglich ihrer technischen Anwendbarkeit an diese Bronzen knüpfen liessen, blieben bisher unerfüllt. Neuerdings jedoch haben die wissenschaftlichen Untersuchungen der Heusler'schen Legierungen zu Resultaten geführt, welche die Verwendung der Bronzen beim Bau gewisser Messinstrumente als vorteilhaft erscheinen lässt.

Herr Fr. Heusler[2]) fand nämlich im Jahre 1905, dass gewisse kupferreiche Aluminium-Manganbronzen von relativ noch sehr hoher Magnetisierbarkeit sich schmieden lassen; zugleich zeigte er, wie es möglich sei, speziell bei diesen Schmiedebronzen durch entsprechende thermische Behandlung die Hysterese ganz beträchtlich zu verkleinern, oder auch wieder zu vergrössern.

Diese qualitativen Beobachtungen Heuslers wurden dann — unter Leitung von Herrn Professor Dr. Richarz — von Herrn Asteroth[3]) durch eine Reihe von quantitativen Versuchen bestätigt:

Erhitzen über den magnetischen Umwandlungspunkt, möglichst schnelles Abschrecken und Altern bei 140° ergibt eine Abnahme der Koerzitivkraft und Hysterese.

---

1) Fr. Heusler, Verh. d. D. Physik. Ges. **5**, S. 219 (1901), 1903.

2) Fr. Heusler, Marburger Sitzungsberichte November 1905.

3) P. Asteroth, Inaug.-Diss. Marburg 1907; Verh. d. D. Physik. Ges. **10**, S. 21—32, 1908; Naturw. Rundsch. **23**, S. 249—250, 1908.

Erhitzen über den magnetischen Umwandlungspunkt, langsames Abkühlen und Altern bei 140° vergrössert Koerzitivkraft und Hysterese, und zwar um so mehr, je länger die Dauer der Abkühlung gewählt wird.

Zugleich ergab sich, dass die obigen Eigenschaften im wesentlichen an die weicheren, schmiedbaren Bronzen geknüpft sind.

Hiermit ist also die Möglichkeit gegeben, die Hysterese einiger weicheren schmiedbaren Aluminium-Manganbronzen innerhalb gewisser Grenzen nach Belieben zu verändern. Dabei lassen sich diese Grenzen, wie schon Asteroths Versuche z. T. zeigen, wider Erwarten äusserst weit nach beiden Seiten hinauschieben. Für das folgende interessiert uns nur die untere Grenze. Die minimalsten Werte, die hier bisher erhalten wurden, zeigte die von Asteroth untersuchte Legierung mit 16,9 % Mn und ~ 9,0 % Al. Erhitzt man diese Bronze etwa 20—30° über ihren magnetischen Umwandlungspunkt — derselbe liegt bei etwa 220° — schreckt sie schnell in Quecksilber ab und altert sie dann noch einige Stunden bei 140°, so ist die Hysterese dieser Legierung sozusagen gleich Null; die Koerzitivkraft beträgt nur noch 0,1 Gauss, bei einer maximalen Magnetisierungs-Intensität von 190 absoluten Einheiten, während z. B. die Koerzitivkraft des magnetisch weichsten Eisens, des sogenannten „legierten Dynamoblechs“,[1]) bei gleicher maximaler Magnetisierung immerhin noch 0,47 Gauss beträgt, also rund fünfmal soviel.[2]) Zugleich sei erwähnt, dass

1) vgl. F. Siegwart, Experimentelle Untersuchung der magnetischen Eigenschaften einer Eisenlegierung der Firma Kapito und Klein. Inaug.-Diss., Zürich 1907, S. 26.

2) Bei orientierenden Versuchen in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Einfluss des Ausglühens an gewöhnlichen Stahlguss- und Dynamoblechsorten gelang es, gewöhnliches käufliches Material soweit zu verbessern, dass die Koerzitivkraft für eine maximale Induktion $\mathfrak{B} = 10000$ nur noch 0,37 Gauss betrug, während die entsprechenden Werte bei vorzüglichem unlegierten Material bisher 0,7 bis 1,0 waren. Indessen hat aber das Material durch längeres Liegen einen, wenn auch kleinen,

durch die thermische Behandlung die Grösse der Magnetisierbarkeit sich sozusagen nicht ändert.

In den Heusler'schen Schmiedebronzen besitzen wir also ein verhältnismässig stark magnetisierbares Material, welches durch besondere thermische Behandlung in einen nahezu hysteresefreien Zustand versetzt werden kann. Dass dies für die Technik unter Umständen von grosser Bedeutung, leuchtet ohne weiteres ein.

Unter den mehr technischen Messinstrumenten gibt es verschiedene, welche in ihrem Inneren einen Kern aus Eisen enthalten und deren Wirkung auf der Magnetisierung dieses Eisenkernes beruht. Ich will mich hier auf die bekannten Ampèremeter und Voltmeter beschränken, in denen die anziehende Wirkung benutzt wird, welche eine von einem Strom durchflossene Drahtspule auf einen Eisen-Kern ausübt. Dass bei diesen Instrumenten die Hysterese des Eisenkernes unter Umständen eine fehlerhafte Einstellung bedingen muss, leuchtet ohne weiteres ein. Schickt man nämlich einen Strom von bestimmter Stärke durch ein solches Ampèremeter bzw. Voltmeter, so wird die Einstellung an einem solchen Instrument verschiedene Werte ergeben, je nach dem Hysteresezweig, längs welchem sich bei der Stromeinstellung die Magnetisierung des Eisenkernes bewegt. Letztere hängt aber ihrerseits von der Vorgeschichte der Magnetisierung des Kernes ab, und somit variiert auch eine jede Einstellung mit dieser Vorgeschichte.

Nun kann man zwar jedesmal bei Beginn einer neuen Messungsreihe diese Vorgeschichte der Magnetisierung des Eisenkernes eindeutig festlegen, und zwar:

1. Durch Entmagnetisierung des Eisenkernes mittels „abnehmender Kommutierungen";
2. indem man einfach die Maximal-Stärke, die das Instrument anzeigt, mehrmals durch stetige Variierung eines Widerstandes ein- und ausschaltet;

---

Teil seiner vorzüglichen Hysterese-Eigenschaften wieder eingebüsst. Vgl. Gumlich und Vollhardt, Ztschr. f. Instr.-Kunde **28**, S. 157, 1908.

3. indem man die Maximal-Stromstärke, die das Instrument anzeigt, einschaltet, diesen Strom eine gerade Anzahl von Malen durch stetige Aenderungen kommutiert und dann ausschaltet.

Wenn man nunmehr eine Messungsreihe vornimmt, so erhält man in jedem der 3 obigen Fälle Einstellungen entsprechend einem genau definierten Hysteresiszweig des Kernes, aber auch nur solange, als die Stromstärke stetig zunimmt; sobald dieselbe wieder abnimmt, ergeben sich Einstellungen entsprechend irgend einem anderen Hysteresiszweig.

Wie gross die hier auftretenden Differenzen in der Einstellung unter Umständen sein können, ersieht man aus den Angaben in den Tabellen I bis III, welche sich bei der Messung an drei im hiesigen physikalischen Institute vorhandenen Ampèremetern ergaben. Bei diesen Aufnahmen wurde die Magnetisierung des Eisenkernes nach dem 2. bzw. 3. oben angegebenen Verfahren zunächst eindeutig festgelegt; Verfahren 3 ergibt dabei zugleich die grössten Differenzen der Einstellung, die bei dem betreffenden Instrument überhaupt vorkommen können.

Tabelle I

Demonstrations-Ampèremeter; Bereich 0—10 Amp.

Magn. Vorgeschichte festgelegt nach Verfahren 3

| Einstellung | | Unterschied der Einstellung in Proz. |
|---|---|---|
| steigend | fallend | |
| 1.00 | 1.45 | 45 |
| 2.00 | 2.40 | 20 |
| 3.00 | 3.45 | 15 |
| 4.00 | 4.45 | 11 |
| 5.00 | 5.40 | 8 |

## Tabelle II
## Ampèremeter Nr. 14336;[1]) Bereich 0—5 Amp.

Magn. Vorgeschichte des Eisenkernes zunächst festgelegt nach Verfahren 3

| Einstellung | | Unterschied der Einstellung in Proz. |
|---|---|---|
| steigend | fallend | |
| 0.50 | 0.62 | 24 |
| 1.00 | 1.13 | 13 |
| 2.00 | 2.12 | 6 |
| 3.00 | 3.11 | 3,7 |
| 4.00 | 4.08 | 2 |

## Tabelle III
## Ampèremeter Nr. 26713;[1]) Bereich 0—20 Amp.

Magn. Vorgeschichte des Eisenkernes zunächst festgelegt nach

| Verfahren 2 | | | Verfahren 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Einstellung | | Unterschied der Einstellung in Proz. | Einstellung | | Unterschied der Einstellung in Proz. |
| steigend | fallend | | steigend | fallend | |
| 1.00 | 1.40 | 40 | 1.00 | 1.73 | 73 |
| 1.50 | 2.00 | 33 | 1.50 | 2.30 | 53 |
| 2.00 | 2.50 | 25 | 2.00 | 2.70 | 35 |
| 3.00 | 3.45 | 15 | 3.00 | 3.60 | 20 |
| 4.00 | 4.35 | 9 | 4.00 | 4.50 | 12,5 |
| | | | 5.00 | 5.50 | 10 |

1) Die beiden Ampèremeter Nr. 14336 und Nr. 26713 stammen von der Firma: Hartmann und Braun in Frankfurt-Main.

Aus diesen Tabellen ersieht man also deutlich, dass die Ablesung an einem solchen Instrument im allgemeinen eine recht zweifelhafte ist. Für die Technik mögen die hier auftretenden Fehler vielleicht ohne Belang sein, indessen finden sich solche Messinstrumente vielfach auch in unseren wissenschaftlichen Instituten, und wenngleich bei allen genaueren Messungen natürlich nur hysteresefreie Ampèremeter Verwendung finden, so wäre es doch erwünscht, wenn auch die gewöhnlichen Ampèremeter bezw. Voltmeter in Bezug auf Hysterese-Freiheit verbessert werden könnten.

Herr Professor Richarz[1]) veranlasste mich nun, in solchen Ampèremetern bzw. Voltmetern den Eisenkern einmal durch eine möglichst hysteresefreie Heusler'sche Schmiedebronze zu ersetzen. Herr Dr. Heusler stellte mir zu diesem Zwecke einige neue Proben freundlichst zur Verfügung, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aussprechen möchte. Nach einigen Versuchen gelang es, eine dieser Proben ziemlich hysteresefrei zu machen, indem die Bronze auf rund 800° erhitzt, in Quecksilber abgeschreckt und dann noch ca. 24 Stunden bei einer Temperatur von 140° gealtert wurde. In dem Demonstrations-Ampèremeter (vgl. S. 104) habe ich ein Stück solcher Bronze als Kern eingebaut, und wie zu erwarten, ergab sich nunmehr eine, Einstellung, welche von der Art und Weise des Stromeinschaltens sozusagen unabhängig ist. Die grössten Differenzen der Einstellung, welche sich jetzt ergaben, betrugen nur etwa 2 Prozent.

Wenn auch manche Heusler'schen Legierungen eine starke Temperaturabhängigkeit ihrer Suszeptibilität zeigen, so kann man doch auch solche zur Verwendung an Messinstrumenten geeignete von geringer Temperaturabhängigkeit herstellen worüber ich demnächst in einer besonderen Veröffentlichung berichten werde.

---

1) Vgl. F. Richarz, diese Berichte 1908, Seite 208, Fussnote 1.

Zum Schluss sei noch bemerkt, dass mit den neuen von Herrn Dr. Heusler zur Verfügung gestellten Proben zwar nicht die ganz minimalen Werte der Hysterese zu erhalten waren, welche Herr Asteroth seinerzeit gefunden hat. Das ist aber auch nicht weiter zu verwundern, da die Beeinflussung der Hysterese der Schmiedebronzen durch thermische Behandlung sehr stark von der Zusammensetzung abhängt, letztere aber bei den neuen Proben nicht genau mit der von Herrn Asteroth untersuchten Legierung übereinstimmt.

In derselben Sitzung berichtete Herr F. A. Schulze:

## Ueber eine Bestimmung der oberen Hörgrenze durch Transversalschwingungen von Saiten.

Durch eine grössere Anzahl von Untersuchungen aus neuerer Zeit ist die normale obere Hörgrenze der Grössenordnung nach zu ungefähr 20000 v. d. mit geringen Schwankungen bestimmt worden, entgegen mehrfachen älteren Angaben, wonach sie erheblich höher sein soll.[1]) Es sind dabei die verschiedensten Tonquellen zur Verwendung gekommen: Zahnradsirenen, Lochsirenen, Klangstäbe, Galtonpfeife, Stimmgabeln, Stimmplatten, Longitudinalschwingungen von Stäben und von Drähten. Bei allen Bestimmungen, die von 20000 v. d. stark differierende Werte für die obere Hörgrenze ergeben haben, hat sich nachträglich ein Irrtum in der Messung der absoluten Schwingungszahlen nachweisen lassen.[2])

Wenn auch die Tatsache, dass bei diesen verschiedenen Tonquellen sich stets ungefähr dieselbe Zahl für die obere Hörgrenze ergeben hat, diese nunmehr als genügend gesichert erscheinen lässt, so schien es mir doch nicht überflüssig, noch eine neue Tonquelle hierzu heranzuziehen, um eine neue Stütze für meine schon mehrfach ausgesprochene Vermutung zu gewinnen, dass die obere Hörgrenze von der Intensität des Tones unabhängig ist, sobald diese nur einen gewissen Minimalwert überschreitet, und dass man also von einer be-

1) Eine ausführliche kritische Zusammenstellung aller bisherigen Bestimmungen der oberen Hörgrenze siehe F. A. Schulze, Beiträge zur Anatomie u. s. w. des Ohres, herausgegeben von Passow und Schaefer, 1, 134—151, 1908.

2) Vgl. F. A. Schulze, Wied. Ann. 68, p. 99 und p. 869; Marburger Sitz.-Ber. 1902, p. 66 und 1907; Ann. d. Phys. 24, 785. 1907.

stimmten oberen Hörgrenze mit demselben Rechte sprechen kann, mit dem man von den Grenzen des sichtbaren Spektrums spricht in dem Sinne, dass der Ort dieser Grenze sich nicht ändert, so sehr man auch die Intensität des Lichtes bez. Schalles steigert; dass aus physiologisch-anatomischen Gründen überhaupt eine Empfindung jenseits dieser Schwingungszahl unmöglich ist.

Diese Vermutung gewinnt umsomehr an Wahrscheinlichkeit, je zahlreicher und namentlich je verschiedener an Tonintensität die benutzten Tonquellen sind. So ist namentlich der Unterschied der Intensitäten der Töne der Galtonpfeife und derjenigen der Longitudinalschwingungen von Drähten im hörbaren Gebiet sehr auffallend. Trotzdem ergaben beide Tonquellen die obere Hörgrenze[1]) bei ungefähr 17000 bis 20000 v. d.

Bei den in folgenden beschriebenen Versuchen wurden als Tonquelle die Transversalschwingungen gespannter Saiten benutzt.

Dass diese, anscheinend sehr nahe liegende Art der Tonerzeugung bisher für diesen Zweck noch nicht zur Verwendung gelangt ist, hat seinen Grund unzweifelhaft darin, dass im allgemeinen selbst bei der stärkst möglichen Spannung von Saiten diejenige Saitenlänge, bei der der Transversalton die der oberen Hörgrenze entsprechende Schwingungszahl erreicht, ganz ausserordentlich klein wird; sie beträgt im allgemeinen nur wenige Millimeter, sodass dann einmal das Anstreichen, die Erzeugung des Tones, schwierig und unsicher wird, und ferner namentlich der Einfluss der Steifigkeit, der Eigenelastizität, auf die Tonhöhe ausserordentlich gross wird, so dass man auch nicht mehr annähernd die Tonhöhe einfach umgekehrt proportional der Länge annehmen kann, sobald

1) An der Galtonpfeife hat Herr J. Hegener dieselbe obere Hörgrenze konstatiert; Beiträge zur Anatomie u. s. w. des Ohres 1, p. 321. 1908.

der Durchmesser der Saite nicht mehr sehr klein ist gegen die Länge der Saite, mithin eine besondere Bestimmung der Schwingungszahlen nötig würde.

Die Schwingungszahl der Transversalschwingung von Saiten ist gegeben durch

$$n = \frac{1}{2\,l}\sqrt{\frac{9{,}81\,P}{p}} \text{ v. d.}^{1})$$

Hierin ist $l$ die Länge der Saite in Metern, $P$ das spannende Gewicht; $p$ ist das in derselben Einheit wie $P$ ausgedrückte Gewicht von 1 Meter der Saite.

Hieraus ist sofort anzugeben, wie gross die einer bestimmten Schwingungszahl entsprechende Länge in maximo werden kann, wenn man die Saite bis fast zum Zerreissen gespannt hat. Ist $Z$ die Zugfestigkeit der Saite, $q$ ihr Querschnitt, so ist die grösstmögliche Spannung $Z \cdot q$. Da auch $p$ proportional dem Querschnitt $q$ ist, so ist bei bestimmter Länge die Schwingungszahl bei einer der Zugfestigkeitsgrenze entsprechenden Spannung unabhängig vom Querschnitt.

Ist $s$ die Dichte des Materials der Saite, so wird die der maximalen Spannung $Z$ entsprechende Schwingungszahl

$$\underset{max.}{n} = 49{,}5\,\frac{1}{l}\sqrt{\frac{Z}{s}} \text{ v. d.}$$

Hierbei ist $l$ die Länge der Saite in $m$, $Z$ die Zugfestigkeit in $\frac{\text{kg-Gew.}}{\text{mm}^2}$.

Für Stahl findet man meist angegeben $Z = 70$. $s$ zu 7,8 angenommen berechnet sich diejenige Saitenlänge, die bei grösstmöglicher Spannung die der oberen Hörgrenze entsprechende Schwingungszahl 20 000 v. d. gibt, zu nur 7,4 mm.

Es gibt nun jedoch auch Stahlsorten von ausserordentlich viel höherer Zugfestigkeit. Der zu den im folgenden be-

1) F. Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik. 10. Aufl. 235.

schriebenen Versuchen dienende Stahldraht (Klaviersaite) hatte eine Zugfestigkeit von 240 $\frac{\text{kg-Gew.}}{\text{mm}^2}$.

Dementsprechend berechnet sich hier diejenige Länge, die eine Transversalschwingung von 20000 v. d. gibt, erheblich grösser, nämlich zu etwa 14 mm. Bei dieser Länge darf man schon hoffen, Bestimmungen der oberen Hörgrenze ausführen zu können.

Es kamen zwei Sorten dieses Stahldrahtes von verschiedenem Durchmesser, 0,35 mm und 0,25 mm, zur Verwendung.

Selbst bei der dickeren Drahtsorte beträgt bei 14 mm Länge das Verhältnis Radius zu Länge nur etwa $\frac{1}{80}$, so dass die durch die Steifigkeit bedingte Korrektion der Schwingungszahl nur geringfügig ist.

Je nach der Art der Befestigung der Enden der Saite hat diese Korrektion verschiedene Werte.

Bei den vorliegenden Versuchen sind von Bedeutung die beiden Fälle:

1. Festgeklemmte Enden.
2. Festgehaltene Enden.

In beiden Fällen bleiben die Endpunkte der Saite an ihrer Stelle. Im ersten Fall jedoch behält auch das nächste Bogenelement der Saite unverändert seine ursprüngliche Richtung bei, während es im zweiten Fall seine Richtung ändern kann und nur der Bedingung unterworfen ist, dass die Krümmung an diesen Stellen Null ist, die Enden müssen gerade bleiben.

(In leicht verständlicher Bezeichnungsweise formulieren sich diese Grenzbedingungen so:

$$\text{Festgeklemmt:} \quad \delta y = 0, \frac{dy}{dx} = 0$$

$$\text{Gehalten:} \quad \delta y = 0, \frac{d^2y}{dx^2} = 0.)$$

Der Fall: gehaltenes Ende entspricht etwa dem sanften Anlegen eines Stäbchens an die Saite, wie man es zur Hervorbringung der harmonischen Obertöne bei Saiten zu tun pflegt.

Für diese beiden Fälle hat Rayleigh[1]) die Korrektionen berechnet.

Es bedeute: $E$ der Elastizitätsmodul, $S$ die Spannung, $r$ den Radius des Querschnitts, $l$ die Länge der Saite, $n$ die unkorrigierte, $n'$ bez. $n''$ die korrigierte Schwingungszahl. Nach Rayleigh ist

für festgeklemmte Enden: $n' = n\left(1 + \frac{r}{l}\sqrt{\frac{E}{S}}\right)$

für festgehaltene Enden: $n'' = n\left[1 + \left(\frac{r}{l}\right)^2 \frac{\pi^2}{8}\frac{E}{S}\right]$

oder wenn $\frac{E}{S} = \varepsilon$, und $\frac{r}{l} = v$, $n' = n(1 + v\sqrt{\varepsilon + 1})$, bez. $n'' = n\left(1 + \frac{\pi^2}{8}v^2\varepsilon\right)$. $\varepsilon$ wird stets sehr gross gegen 1 sein, sodass man auch mit genügender Annäherung hat:

$$n' = n(1 + v\sqrt{\varepsilon}) \text{ (festgeklemmte Enden)}$$

$$n'' = n\left[1 + \frac{\pi^2}{8}(v\sqrt{\varepsilon})^2\right] \text{ (gehaltene Enden).}$$

$v$ hat für die beiden verwendeten Drahtsorten, für $l = 14$ mm den Wert 0,0126, bez. 0,009. $\varepsilon$ hat bei sehr geringer Spannung sehr hohe Werte, die aber bedeutungslos sind, weil der Transversalton erst bei stärkeren Spannungen gut zu erzeugen ist; mit steigender Spannung nimmt $\varepsilon$ ab bis zu seinem kleinsten Wert, den es dicht vor dem Zerreissen annimmt.

Für die gebrauchten Stahldrähte mit $E = 20\,000$, $Z = 240\ \frac{\text{kg-Gew.}}{\text{mm}^2}$ ist $\varepsilon = 83{,}33$, $\sqrt{\varepsilon} = 9{,}1$.

---

1) Lord Rayleigh, Die Theorie des Schalles, deutsch von Neesen, Band I, pag. 222, bez. 324.

Bei stärkster Spannung ist also für $l = 14$ mm bei dem Draht von 0,35 mm Durchmesser.

$$n' = n(1 + 0{,}115); \; n'' = n(1 + 1{,}23(0{,}115)^2) = n(1 + 0{,}017)$$

für den Draht vom Durchmesser 0,25 mm

$$n' = n(1 + 0{,}082); \; n'' = n(1 + 0{,}0082).$$

Bei den folgenden Versuchen wurde häufig das eine Ende festgeklemmt, das andere gehalten. Man wird wohl nicht allzusehr irren, wenn man dabei als Korrektion den Mittelwert der beiden für geklemmte und gehaltene Enden geltende Korrektionen ansetzt.

Die Korrektionen werden grösser, wenn die Spannung geringer ist. Die geringste benutzte Spannung, bei der noch gute messbare Transversaltöne entstehen, betrug etwa $^1/_2$ der maximal möglichen Spannung, sodass die Korrektion dann für geklemmte Enden bei gleicher Länge das 1,4fache, für festgehaltene das Doppelte der eben angegebenen beträgt.

Die Versuche wurden nun im einzelnen so angestellt, dass die Drähte in dem für diese Versuche sehr geeigneten Monochord von W. Weber eingespannt wurden; das eine Ende blieb dauernd festgeklemmt, das andere ist in einer zweiten Klemmbacke befestigt, deren Träger längs einer Führung läuft, und in der sich eine Schraube befindet, deren Ende gegen ein feststellbares Widerlager stösst. Es kann so der Draht durch Drehen der Schraube elastisch gedehnt und in jeder Stellung festgehalten, ihm eine beliebige Spannung bis zum Zerreissen erteilt werden. Die ganze Länge des Drahtes betrug etwa 1 m.

Sobald die Spannung so gross geworden war, dass der Transversalton deutlich entstand, wurden die Versuche begonnen, indem zunächst diejenige Saitenlänge $l_1$ bestimmt wurde, die einem Ton von bekannter Schwingungszahl $N$ (meist

$N = 1024$ entsprach; sodann wurde die Saitenlänge successive verkürzt, entweder durch Abklemmen mit einer breiten Flachzange (festgeklemmtes Ende) oder Berührung mit dem Fingernagel (gehaltenes Ende), und an dem abgegrenzten Stück der Transversalton durch Anstreichen mit dem Bogen erzeugt. Es wurde so festgestellt, bis zu welcher Saitenlänge $l_2$ bez. $l_3$ noch ein Ton vernommen wurde; diese Länge war im allgemeinen bei stärkeren Spannungen gut und genügend scharf, meist auf weniger als $^1/_2$ mm, bestimmbar. Die dieser Länge entsprechende Schwingungszahl $n$ wurde zunächst unkorrigiert als $N\frac{l_1}{l_2}$ bez. $N\frac{l_1}{l_3}$ angenommen, und dann nach obigen Formeln hieran noch die oben besprochene Korrektion wegen der Steifigkeit der Saite angebracht.

Bei schwächster Spannung war diejenige Saitenlänge, bei der der Transversalton über der oberen Hörgrenze lag, so kurz — geringer als 5 mm —, dass eine genaue Bestimmung nicht möglich war. Mit zunehmender Spannung wurde dann diese Länge allmählich grösser und erreichte kurz vor dem Zerreissen die Länge von etwa 16 mm.

Alle diese Versuche ergaben, in der geschilderten Weise berechnet und korrigiert, übereinstimmend die obere Hörgrenze für mein Ohr zu rund **17000 v. d.**

Wie es nach den Rayleigh'schen Korrektionsformeln sein muss, waren fast durchweg die Seitenlängen an der oberen Hörgrenze bei beiderseits festgeklemmten Enden ein wenig, $^1/_2$—1 mm, länger als für den Fall, dass ein Ende festgeklemmt, das andere gehalten wird. Letzteres ergab im allgemeinen sicherere Bestimmungen.

Es mögen noch beispielsweise zwei Versuchsreihen mitgeteilt werden.

I. Stahldraht von 0,35 mm Durchmesser.

Der erste deutliche Transversalton bei einer Länge von 1157 mm; Messung noch unmöglich. $l$ bedeutet die Gesamtlänge; $l_1$ diejenige Länge, die einen Transversalton von 1024 v. d. gab; $l_2$ diejenige Länge, die der oberen Hörgrenze entsprach, wenn beide Enden festgeklemmt; $l_3$ diejenige Länge, die der oberen Hörgrenze entsprach, wenn ein Ende geklemmt, das andere gehalten war; $N_2$ bez. $N_3$ ist die daraus berechnete obere Hörgrenze.

| $l$ | $l_1$ | $l_2$ | $N_2$ | $l_3$ | $N_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1162 mm | 173 mm | 10,0 mm | 17710 | — | — |
| 1164 „ | 194 „ | 12,15 „ | 16420 | 11,5 mm | 17270 |
| 1166 „ | 212 „ | 13,0 „ | 16570 | 12,7 „ | 17092 |
| 1167 „ | 220 „ | 13,7 „ | 16440 | 13,1 „ | 17200 |
| 1168 „ | 230 „ | 14,5 „ | 16240 | 13,5 „ | 17440 |
| 1169 „ | 235 „ | 15,0 „ | 16800 | 14,4 „ | 16710 |
| 1170 „ | 241 „ | 15,5 „ | 16300 | 14,5 „ | 17020 |
| 1172 „ | 245 „ | 15,5 „ | 16700 | 15,0 „ | 16700 |
| 1173 „ | 253 „ | 16,0 „ | 16200 | 15,5 „ | 16760 |
| 1174 „ | 257 „ | 16,0 „ | 16640 | 15,7 „ | 16760 |
| 1175 „ | 260 „ | 16,2 „ | 16300 | 15,7 „ | 16800 |

II. Stahldraht von 0,25 mm Durchmesser.

| $l$ | $l_1$ | $l_2$ | $N_2$ | $l_3$ | $N_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1151,3 mm | 85 mm | $<$ 5 mm | — | — | — |
| 1152 „ | 103 „ | 5—6 „ | — | — | — |
| 1152,5 „ | 116 „ | 6—7 „ | — | — | — |
| 1153 „ | 124 „ | 7,4 „ | — | — | — |
| 1153,5 „ | 133,5 „ | — | — | 8,0 mm | 17450 |
| 1154 „ | 144 „ | 8,5 „ | 17860 | 8,2 „ | 17930 |
| 1155 „ | 162 „ | 10,0 „ | 17010 | 10,5 „ | 16220 |
| 1156 „ | 175 „ | 11,0 „ | 16820 | 11,25 „ | 16420 |
| 1157 „ | 182 „ | 11,5 „ | 16700 | 12,0 „ | 16800 |
| 1158 „ | 193 „ | 11,5 „ | 17430 | 12,2 „ | 16380 |
| 1159 „ | 207 „ | 12,4 „ | 17500 | 12,4 „ | 17330 |
| 1160 „ | 220 „ | 14,0 „ | 16490 | 13,5 „ | 17020 |
| 1161 „ | 230 „ | 14,5 „ | 16800 | 14,0 „ | 17200 |
| 1162 „ | 232 „ | 14,5 „ | 16870 | 14,0 „ | 17290 |

| $l$ | $l_1$ | $l_2$ | $N_2$ | $l_3$ | $N_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1163 mm | 243 mm | 15,0 mm | 16920 | 15,0 mm | 16750 |
| 1164 „ | 244 „ | 15,5 „ | 16380 | 16,0 „ | 16030 |
| 1165 „ | 247 „ | 16,2 „ | 16150 | 16,0 „ | 16020 |
| 1166 „ | 249 „ | 16,0 „ | 16230 | 16,3 „ | 15780 |
| 1167 „ | 255 „ | 16,5 „ | 16670 | 16,0 „ | 16680 |
| 1168 „ | 258 „ | 16,3 „ | 16840 | 16,0 „ | 16680 |
| 1169 „ | 260 „ | — | — | 16,0 „ | 16800 |

Im allgemeinen ist dieser Methode der Bestimmung der oberen Hörgrenze durch Transversalschwingungen diejenige durch Longitudinalschwingungen von Drähten wohl durchaus vorzuziehen, weil bei letzterer die der oberen Hörgrenze entsprechenden Saitenlänge viel grösser ist (bei Stahl etwa 16 cm), sodass die Abstufung und Genauigkeit viel grösser ist, und Korrektionen nicht erforderlich sind. Doch dürfte sie als neue von den anderen unabhängige Bestimmungsart Wert haben, besonders weil sie wieder dieselbe Grössenanordnung für die obere Hörgrenze liefert, wie alle anderen Tonquellen.

Die Intensität der Töne war, etwa im Vergleich zu den von der Galtonpfeife gelieferten Tönen, ausserordentlich schwach; dass sich trotzdem wieder fast dieselbe Hörgrenze wie auch sonst mit diesen Tönen ergeben hat, dürfte eine neue Stütze für die oben ausgesprochene Vermutung sein, dass es tatsächlich eine bestimmte obere Hörgrenze gibt, unabhängig von der Tonintensität, solange diese oberhalb eines Minimalwertes bleibt.

Eine sehr interessante Bestätigung dieser Vermutung hat sich neuerdings bei Versuchen von Schames[1]) über die Abhängigkeit der Permeabilität von Eisen von der Schwingungsfrequenz gelegentlich als Nebenresultat ergeben. Es wurde hierbei ein Poulsen'scher elektrischer Schwingungskreis, aus Kapazität und Selbstinduktion bestehend, verwandt, dessen

1) L. Schames, Ann. d. Phys. 27, 71. 1908.

Frequenz durch Veränderung einer der beiden Grössen in weiten Grenzen variiert werden konnte.

In einer Anmerkung schreibt Herr Schames: „Es mag erwähnt werden, dass dieser Ton (nämlich 23 000 v. d. pro Sec.) für mich nicht mehr hörbar war, während ein Ton bei $n = 20\,000$ noch deutlich wahrgenommen wurde. Die Energieverhältnisse haben sich beim Uebergang von der einen Frequenz zur anderen natürlich nicht verändert."

Die von einem Poulsen'schen Schwingungskreis ausgesandten Tonwellen, die schon mehrfach in der Akustik verwandt worden sind, dürften sich überhaupt bei der Herstellung und Untersuchung sehr hoher akustischer Schwingungen noch in reichem Masse brauchbar erweisen.

In der Sitzung vom 12. Mai sprach Herr Beneke:

## Ueber die Ursachen der Entstehung der Gaumenspalten.

Die moderne Entwicklungsmechanik, welcher die normale Embryologie so zahlreiche Enthüllungen, so grosse Fortschritte für das Verständnis einfacher und komplizierter Vorgänge verdankt, erobert sich auch das Gebiet der pathologischen Entwicklungsstörungen, der Missbildungen, mehr und mehr. Immer enger wird der Kreis der Formstörungen, welche auf eine sogen. primäre Wachstumsschwäche oder ein Wachstumsübermass bezogen werden können. Namentlich die Gruppe der Spaltbildungen, bei denen die Annahme einer unzureichenden Wachstumskraft mit Vorliebe herangezogen zu werden pflegte, liefert immer neue Beispiele, bei welchen eine Erklärung aus einfachen mechanischen Momenten, welche mit der Wachstumskraft der fraglichen Stellen gar nichts zu tun haben, weitaus grössere Wahrscheinlichkeit besitzt oder geradezu beweiskräftig wird. In diesem Sinne habe ich versucht, auch für die Genese der Gaumenlippenspalte aus mechanischen Ursachen Beweismaterial zusammenzubringen, welches der bisher meist beliebten Annahme, dass eine primäre Wachstumsschwäche der sich entgegenwachsenden Gaumenspalten den Grund für das Ausbleiben der Verwachsung abgebe, gegenüberzustellen wäre. Der Gedanke einer mechanischen Veranlassung der Gaumenspalte ist hier und da schon gelegentlich erwogen worden, so z. B. von Friedrich, der in einem Falle eine besondere Verlagerung des fötalen Armes mit der bestehenden Gaumenspalte in Verbindung brachte; doch fehlt eine umfassendere Darstellung der in Betracht kommenden Momente; Schwalbe, dem wir eine so gründliche Darstellung der Missbildungen verdanken, hat noch in seiner neuesten Publikation (in

Aschoffs Lehrbuch der allgemeinen Pathologie, 1909) den Standpunkt, dass es sich um eine Hemmungsbildung handle, unbedenklich vertreten.

Der Grundgedanke meiner Vorstellung von der Entstehung der Gaumenspalte liegt in der Annahme, dass die Verwachsung der beiden Gaumenfortsätze der beiderseitigen Oberkieferanlagen ausbleibt, weil die Zungenanlage von unten her zwischen dieselben gepresst wird; indem die Zunge gegen das Nasenseptum vorgedrängt wird, gestattet sie den Gaumenfortsätzen den Zusammenschluss gar nicht oder nur unvollkommen; dieselben wachsen zwar mit voller Wachstumskraft vor, formen sich aber dem ungewöhnlichen Widerstande entsprechend und erscheinen demgemäss nicht allein klaffend, sondern auch, was in manchen Fällen so besonders deutlich hervortritt, schief gestellt und nach oben verbogen.

Die Möglichkeit einer solchen mechanischen Beeinträchtigung, welche also in die ersten Wochen des fötalen Lebens zu verlegen sein würde, liegt ungemein nahe. Denn in diesen frühen Perioden ragt das Herz weit aus dem Embryonalkörper hervor und liegt mit seiner oberen Fläche unmittelbar der Gegend des oberen Kiemenbogens an; durch die Nackenkrümmung liegt ja die Kopfanlage des Embryo rechtwinklig nach vorn gebeugt. In diesem Stadium ist die Gaumenplatte noch nicht angelegt, die Nasenhöhle bildet einen nachgiebigen Raum, die Zungenanlage wächst als solider dreiteiliger Ballen aus dem Kiemenbogen vor und bildet einen dicken Wulst. Ein relativ vielleicht nur ganz geringer anhaltender Druck in der Längsrichtung des Embryo muss ausreichen, um die Herzanlage derart gegen die Zungenanlage zu pressen, dass diese sich in den ursprünglich vorhandenen Gaumenspalt vordrängt, und dauernd das Zusammenwachsen der Gaumenfortsätze hemmt. Da die Unterkieferanlage von Anfang an einheitlich ist, so nimmt sie an der Spaltung nicht teil; je nach der Richtung der Verdrängung der Zunge nach oben

wird die Gaumenspalte rechtsseitig, linksseitig oder beiderseitig. Ist die Verwachsung der Gaumenplatten einmal im richtigen Moment verpasst, so nützt auch ein späteres Aufrichten des Kopfes nicht mehr, da die Zunge an Ort und Stelle liegen bleibt und wohl auch die Richtung und die Kraft der Wachstumstendenzen der Gaumenplatten sich geändert hat.

Diesem Gedankengang entsprechend habe ich das mir zur Verfügung stehende Material untersucht; es bestand aus den Sammlungen des Marburger pathologischen Instituts, der Marburger Frauenklinik, des Züricher, Leipziger und Berliner pathologischen Instituts; den Herren Kollegen Stöckel, Schmidt, Marchand und Orth bin ich zu besonderem Danke für die Erlaubnis ihr Material verwerten zu dürfen, verbunden.

Wir wissen, dass die Gaumenspalten bei den meisten Individuen als die einzige Missbildung auftreten; andererseits aber finden sie sich auch ganz auffallend häufig mit anderen Missbildungen schwererer oder leichterer Natur kombiniert. Gerade die letztere Tatsache hat die Vermutung, dass die Erkrankung auf tiefgreifenden „Wachstumsschwächen" der gesamten Fötalanlage beruhe, immer wieder bestärkt. Gerade hier aber glaube ich meine oben dargelegte Anschauung besonders deutlich erweisen zu können. Denn die von mir vorgenommene Zusammenstellung der mit Gaumenspalte kombinierten Missbildungen hat mir ergeben, dass diese Kombination nur bei ganz bestimmten Arten von Missbildungen vorkommt, und zwar solchen, welche auf eine Raumbeengung im Amnion hinweisen, meist in dem Sinne, dass das Längenwachstum des Embryonalkörpers, das freie ungehinderte Auswachsen der Kopfanlage gestört ist, die normale Krümmung des Körpers nach vorn daher übertrieben ausgebildet oder deren Aufrichtung gehemmt wurde, oder dass mit anderen Worten die Herzanlage und die Kopfanlage demnach zu fest

oder zu lange gegeneinander gepresst worden sein müssen. Hierbei kommen sowohl Fälle von Einzelmissbildungen als von Doppelmissbildungen in Betracht.

Die ausführliche Wiedergabe meines Materials muss ich auf eine umfassendere Veröffentlichung verschieben. Hier beschränke ich mich auf die Mitteilung, welche Gruppen von Missbildungsformen von mir als mit Gaumenspalten kombiniert gefunden wurden.

Im ganzen habe ich 121 Fälle zusammengestellt. Hiervon waren kombiniert:

15 Fälle mit Polydaktylie (darunter 2 mit Cyklopie),
27 „ „ Peromelie verschiedener Formen und Mikromelie,
16 „ „ Ohrverkümmerung, Auricularanhängen etc.
22 „ „ einfachem Bauchbruch,
6 „ „ Bauchbruch und Exencephalie,
9 „ „ Bauchbruch und Hydroceph. int.,
3 „ „ Bauchbruch und Hemicranie,
2 „ „ Zwerchfellhernie,
8 „ „ Ektopia cordis,
2 „ „ Hydronephrose und Cystenniere,
4 „ „ Herzvergrösserung (Septumdefekt),
2 „ „ Meningocele,
2 „ „ Acranie, Rhachischisis,
1 „ „ Hydrocephalus int.,
1 „ „ Mikrokephalie,
1 „ „ Dolichokephalie,
1 „ „ Sklerodermie,
6 „ „ Thorakopagus.

In einer grösseren Anzahl von Fällen, namentlich den mit Polydaktylie kombinierten, wurde gleichzeitig eine besonders kräftige Entwicklung des Körpers notiert (s. u.).

Ich kann hier nicht ausführlicher auf die Genese der oben angeführten Missbildungsformen eingehen. Fasst man den Gesichtspunkt einer Raumbeschränkung im Amnionsack ins Auge, sei es dass dieselbe durch Frucht-

wassermangel, Amnionanomalieen oder relativ übermässiges Wachstum des Fetus zustande gekommen wäre, so würden die Fälle von Polydaktylie, Peromelie, Ohrverkümmerung, zusammen 58! hierher zu rechnen sein. Sind auch die Verkümmerungen, Verkrümmungen, Verdopplungen der Extremitäten zeitlich etwas später zu setzen, als etwa die Anlage der Gaumenspalte, so ist doch das so ungemein häufige Zusammenfallen dieser Missbildungen wohl Grund genug, um eine einheitliche Ursache anzunehmen: ich stehe auf dem Standpunkt, dass jene Extremitäten- und Ohrveränderungen Raumbeengungen im Amnionsack zu verdanken sind und nehme daher ein gleiches auch für die Gaumenspalten dieser Fälle im obigen Sinne an. — In vielen Fällen finden sich die Extremitätenmissbildungen gleichzeitig mit anderen, z. B. Bauchbruch, kombiniert; die Grade der Peromelie, Syndaktylie, Polydaktylie, Klumpfussbildung und Verkrümmungen der Extremitäten sind in meinem Material sehr verschieden. Alles deutet darauf hin, dass es sehr frühe Veränderungen gewesen sein müssen, welche die Kombination veranlasst hatten.

Die gleiche Raumbeschränkung, in der Längsachse wirksam, veranlasst wohl auch die Verkrümmung der ganzen Körperachse mit der Konvexität nach hinten, welche ich als Grundursache der vorderen Spaltbildungen ansehe: hierher gehören m. E. die Fälle von Bauchbruch mit und ohne Hirnveränderungen, von Zwerchfellhernie, Ektopia cordis, zusammen 50! Fälle. Aendern sich etwa auch im späteren fetalen Leben die Verhältnisse, sodass der Körper sich aufrichtet, so können doch als Erinnerung an die übermässige Verkrümmung in frühester Zeit die irreparablen Residuen in Form der Bauchbrüche, der Herzektopie, der Gaumenspalten stehen bleiben.

An diese Gruppen schliessen sich diejenigen Zustände, bei denen frühzeitige innere Organvergrösserungen zu einem relativ starken Hervortreten der Herzanlage nach oben geführt haben: ich stehe nicht an, in diesem Sinne die Hydro-

nephrose und Cystenniere, sowie die angeborene, wohl meist auf Defektbildungen beruhende Herzvergrösserung, zusammen mit 6 Fällen, anzuführen. Bei der grossen Häufigkeit dieser Missbildungen fällt die relativ geringe Zahl der Fälle offenbar auf: es liegt wohl nahe, daran zu denken, dass diese inneren Fehler wohl doch meistens zu spät kommen, um noch eine bemerkenswerte Veränderung der Herzlage und damit eine Gaumenspalte zu veranlassen; nur in ganz seltenen Fällen mag der Einfluss auf die Lage des Herzens — oder eine für alles gemeinsame Ursache — im rechten Zeitpunkt bereits einsetzen.

Ganz besonders auffällig aber sind dann weiter die Kombinationen der Gaumenspalten mit Doppelmissbildungen und zwar ganz vorwiegend der Verschmelzung im vorderen Körperabschnitt, namentlich der Herzverschmelzungen (Thorakopagus 6 Fälle!); gewöhnlich haben beide Zwillinge beiderseitige oder symmetrisch gelegene einseitige Gaumenspalten. Gewiss ein deutlicher Beweis für die Beziehung der letzteren zu räumlich-mechanischen Verhältnissen, sowie für die Auffassung, dass diese Verschmelzungen selbst vielleicht Folge einer primären Raumbeschränkung für die beiden Embryonalanlagen im Chorionbindegewebesack sind.

Auf die Einzelfälle der sonstigen Kombinationen lege ich einstweilen ein geringeres Gewicht: aber mit besonderem Nachdruck soll wenigstens noch hervorgehoben werden, dass die weitaus häufigste Missbildung früher Perioden, die Rhachischisis und Cranioschisis, nur mit 2 Fällen vertreten ist. Gerade in der Tatsache, dass diese Missbildungsformen nur in ganz seltenen Ausnahmefällen mit Gaumenspalten kombiniert sind, sehe ich einen markanten Beweis meiner Anschauung. Denn diese Fälle beruhen m. E. auf einer in der der physiologischen fetalen Rückenkrümmung entgegenwirkenden Druckwirkung, durch welche die Längsachse des Fetus zu einer Lordose an den verschiedenen Stellen veranlasst wird. Hierdurch wird die Herzanlage von den Kiemen-

spalten entfernt; ist doch das charakteristische Froschkopfgesicht der Ausdruck für eine abnorme Rückwärtsbiegung des Kopfes. Unter solchen Umständen ist im allgemeinen, wenn nicht ganz besondere Momente (Bauchbruch u. a.) hinzukommen, eine mechanische Entstehung einer Gaumenspalte unmöglich und deshalb wird sie eben auch nicht gefunden.

In ähnlichem Sinne sind wohl auch die Fälle von Verschmelzung des vorderen Körperendes, aber Rücken an Rücken, eventuell mit Januskopf, zu denken, in denen die Gaumenspalten fehlen.

Dass alle die zahlreichen anderen Missbildungen, welche einen menschlichen Embryo treffen können, ohne Gaumenspalten zustande zu kommen pflegen, sei hier nur noch einmal besonders als Gegengrund gegen die so verbreitete Annahme, dass eben die Kombination mit Missbildungen an sich ein Beweis für die primäre Wachstumsschwäche des Gaumens sei, hervorgehoben.

Es bleibt nun noch die zweite Hauptgruppe der Fälle von Gaumenspalten zu erörtern, welche die grösste Mehrzahl umschliesst: die Fälle, in welchen die Gaumenlippenspalte die einzige Missbildung am ganzen Körper ist. Gerade für diese Fälle ist die „angeborene Gewebeschwäche“ besonders gern herangezogen worden; ist es doch eine feststehende Tatsache, dass die Heredität hier eine besondere Rolle spielt, indem dieselbe Mutter, derselbe Vater mehrere Kinder mit Hasenscharten und Wolfsrachen nacheinander erzeugen, und dabei selbst bisweilen mit solchen behaftet sein können. Aber gerade in dieser Beziehung muss gewiss besondere Vorsicht im Urteil walten; die „Heredität“ liegt vielleicht, ja sogar sehr wahrscheinlich, gar nicht in einer lokalen Erkrankung der Gaumenplatten, sondern in einer in allerfrühester Embryonalperiode einsetzenden, auf einer zur Zeit noch undefinierbaren, vom Vater oder der Mutter stammenden Be-, sonderheit herstammenden, allgemeinen Anomalie des Eies

etwa einer Amnionenge, welche sich regelmässig bei jeder Schwangerschaft wiederholen und daher auch die gleichen Folgen, d. h. also die Gaumenspalte, bei jedem Kinde mit sich bringen würde. Die vererbten Gaumenspalten wären dann etwa jenen Fällen gleichzustellen, in welchen z. B. hintereinander von anscheinend kerngesunden Eltern mehrere Kinder mit Hemikranie oder Rhachischisis gezeugt werden, bei denen also nach meiner oben erwähnten Auffassung gleichfalls eine pathologische Längenwachstumsstörung der jüngsten Embryonalanlage mit dem Effekt lordotischer Krümmung stattgefunden hat. Litten bereits die Eltern an der Gaumenerkrankung, so wäre es sehr wohl möglich, dass auch sie bereits die Folgen einer durch Generationen hindurch vererbten frühzeitigen Eianomalie zu tragen gehabt hätten. Es ist gar nichts gegen die Möglichkeit zu sagen, dass eine derartige geringfügige Anomalie der ersten Wochen sich im Laufe der Schwangerschaft ausgleicht und der Fetus demgemäss zu einer im übrigen ganz normalen Entwicklung gelangt, und nur jenes eine Residuum einer minimalen ehemaligen Krümmungsverstärkung, nämlich die Gaumenspalte, dauernd behält.

Ich bin aber noch in der Lage, auch für diese Fälle mit scheinbar ganz normalem Körperbau auf einen Befund hinweisen zu können, den ich zuerst bei einem zufällig von mir vor etwa $^1/_2$ Jahr sezierten Neugeborenen, welches abgesehen von der Gaumenspalte durchaus wohlgebildet war entdeckte. Ausgehend von meiner schon oben dargelegten Anschauung über die mechanische Veranlassung der Gaumenspalte durch Vorpressen der Herzanlage in frühen Embryonalstadien suchte ich etwaige Residuen eines solchen Vorpressens in Gestalt von Thoraxanomalien durch einen Gipsausguss des Thorax nachzuweisen. Tatsächlich fand sich ein auffallendes Verhältnis, welches mir bei der Betrachtung der Leiche entgangen war: der angulus costarum erwies sich auffallend spitz, der Thorax im ganzen

schmal und ungemein tief, als ob er im ganzen eine seitliche gelinde Kompression erfahren hätte. Dieser Befund stimmte also in auffälliger Weise mit den Fällen einer Peromelie oder Hyperdaktylie der oberen Extremitäten (s. o.) oder einer Ohrmisbildung überein, deren Deutung ja auch auf ein seitliches Anpressen der betreffenden Glieder an den Thorax bezw. der Ohranlagen an den Kopf hinweist. Ich habe darauf die Serie von Ausgüssen des Thoraxinneren von Neugeborenen angefertigt, welche ich Ihnen hier vorlege. Sie erkennen ohne weiteres, wie stark gerade der Thorax jenes Gaumenspaltenkindes von allen übrigen in den genannten Punkten abweicht, wenn auch bei einzelnen Fällen, wie z. B. ganz jungen, noch nicht ausgetragenen Frühgeburten, wenigstens in den oberen Thoraxabschnitten ähnliches angedeutet ist.

In diesem Verhältnis des Thorax sehe ich also den Ausdruck für eine intrauterine seitliche geringe Raumbeschränkung. Das Herz liegt offenbar in solchen Fällen weit nach vorn, wenn es auch nicht zu einer Spaltbildung (Ektopie) gekommen ist. Ueberträgt man diesen Zustand auf die ersten Embryonalperioden, so würde er eben gerade die Vorbedingung einschliessen, welche ich für die Genese der Gaumenspalten für erforderlich halte.

Dieser Befund steht nun, wie ich mit Befriedigung konstatieren konnte, nicht vereinzelt da. Fälle von einfachen Gaumenspalten mit dem ganzen Körper sind in den von mir untersuchten Sammlungen nicht aufgehoben, sondern nur die Köpfe. Nur in Berlin und Zürich fand ich je ein altes Skelet von Neugeborenen, welches ausser Gaumenspalten keine auffallende Anomalie aufwies. In beiden Fällen fand ich die gleiche auffallende Thoraxform wie in meinem Falle: eine unverkennbare seitliche Abplattung bei im übrigen symmetrischer Anlage. In gleicher Weise ist es mir gelungen, auch bei den mit Gaumenspalten kombinierten Missbildungen mehrfach teils jene Form nachzuweisen, teils andere Thorax-

anomalien zu finden; indessen zeigte sich häufig, dass die Präparate viele Jahre lang in enge Gläser eingepresst gewesen waren, sodass diese „Anomalien“ nicht immer eindeutig erschienen.

Derartige Fälle sind meist nicht Gegenstand der Untersuchung der Pathologen, indem die geringe Missbildung des Gaumens ja das Leben nicht schädigt. Es würde von hohem Werte sein, wenn alle Obducenten, denen zufällig ein Neugeborenes mit Gaumenspalte, ohne sonstige Anomalie, zur Sektion käme, durch einen Gypsausguss die Thoraxform prüfen würden. Denn die Gefahr, dass das charakteristische Bild wenige Monate nach der Geburt bereits durch die wachsende Lunge und die normalen Atembewegungen ausgeglichen wird, liegt natürlich nahe: bei älteren Kindern oder bei Erwachsenen mit Gaumenspalten wird man schwerlich noch die Thoraxabplattung erkennen können. Sehr erwünscht wäre es natürlich auch, wenn die Geburtshelfer bei den lebenden Neugeborenen mit Gaumenspalten wenigstens durch Kyrtometerbestimmung annähernd die Thoraxform gleich nach der Geburt oder wenigstens in den ersten Wochen des Lebens festzustellen sich bemühen würden. Allerdings würden diese Resultate an Sicherheit der Gipsausgussmethode weit nachstehen.

Noch auf eine andere geringe Anomalie, welche vielleicht für die Genese der Gaumenspalten in Frage käme, möchte ich mit der Aufforderung an die Geburtshelfer, die hier allein das Material zur Verfügung haben, darauf achten zu wollen, hinweisen. In manchen der von mir untersuchten missbildeten Feten fiel die ungewöhnlich starke Fettgewebebildung oder allgemeine Körpergrösse auf. Sie deutete auf ein besonders lebhaftes Wachstum des fetalen Körpers. Es wäre denkbar, dass eine derartige Wachstumsenergie in früher Periode mit einem relativen Zurückbleiben des Wachstums des Amnion oder Chorion kombiniert wäre, sodass damit die erste, von mir supponierte Ursache der

Gaumenmissbildung, nämlich eine relative Amnionenge und damit die Hemmung des Längenwachstums des Fetus mit dem Effekt besonders starker oder relativ zu lange anhaltender Nackenkrümmung, gegeben wäre. Mit dieser Auffassung stimmte überein, dass jene Adipositas sich besonders deutlich bei den einfachsten Fällen von Gaumenspalte, welche mit Polydaktylie oder nur mit Ohrmissbildungen kombiniert waren, vorfand; es erwuchs dabei die Vorstellung, dass gerade die starke Körperentwicklung des Fetus jene Missbildungen gleichzeitig mit der Gaumenspalte veranlasst hatte, indem sie den Amnionraum relativ verengte, sodass Extremitätenanlagen wie Ohranlagen im eigentlichsten Sinne des Wortes an die Wand gedrückt wurden. Es muss die Aufgabe einer zukünftigen Statistik sein, festzustellen, wie oft einfache Gaumenspalten statt mit ausgeprägten lokalen oder allgemeinen Missbildungen nur mit auffälliger adipositas universalis oder starker Körpergrösse der Neugeborenen kombiniert sind. Vielleicht würden diese Fälle das Verständnis auch für die Kombination mit anderen raumbeschränkenden Missbildungen, z. B. einem Hydrocephalus, einer Doppelbildung u. a. erleichtern.

---

In der Wahlsitzung vom 28. Juli wurden zu ausserordentlichen Mitgliedern gewählt: Herr Professor Dr. Diels, Herr Privatdozent Dr. Wegener, Herr Privatdozent Dr. Rühl und Herr Dr. Otto Veit.

---

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 7 November 1909


In der Sitzung vom 10. November sprach Herr O. Veit:

### Über das Vorkommen von Vornierenrudimenten und ihre Beziehungen zur Urniere beim Menschen.

Nachdem schon seit längerer Zeit, vorwiegend von vergleichend-anatomischen Rücksichten ausgehend, Vornierenrudimente bei Säugerembryonen gesucht und auch beschrieben wurden, hat zuerst J. Tandler (1905) eine Untersuchung speziell der Frage des Vorkommen von Vornierenrudimenten beim Menschen gewidmet und versucht die Häufigkeit ihres Auftretens sowie allgemein gültige Merkmale ihrer Erscheinungsweise festzustellen. Tandler fand einzelne Kanälchen, die in gewissem Abstande cranial vor der in sich geschlossenen Urniere meist in der Höhe der 6. und 7. Segmentalarterie dorsal von den grossen Gefässen gelegen waren. Sie waren an beiden Enden blindgeschlossen und behielten in ihrer längeren oder kürzeren Ausdehnung ihre Lage dorsal von Vena cardinalis und Aorta bei, oder schoben sich ventral zwischen diese Vene und das Coelomepithel, um hier blind zu enden oder sich frei in die Leibeshöhle zu öffnen; auch ein äusserer Glomerulus wird beschrieben. Tandler gründet die Deutung solcher Kanälchen als Vornierenrudimente auf

das Fehlen eines Zusammenhanges mit der sicheren Urniere, die nicht so weit cranial reiche und erst später Rückbildungserscheinungen und Zerfall in einzelne Bruchstücke zeige, sowie auf die Lage dorsal von den grossen Gefässen.

Seither wird häufig bei Beschreibung menschlicher Embryonen das Vorkommen von Vornierenrudimenten erwähnt, ohne dass aber jedesmal eine detaillierte Beschreibung oder sonst eine Begründung gegeben wird. In Sonderheit ist die Ansicht von Tandler, der sich zudem bei der geringen Anzahl der damaligen Beobachtungen sehr vorsichtig und zurückhaltend äusserte, dass neben den Beziehungen zur Urniere besonders die Lage zu den grossen Gefässen für die Beurteilung von Bedeutung sei, nicht stets berücksichtigt werden. Während Tandler auf die Lage dorsal von der Vena cardinalis post. in seinen Fällen hinweist, deuten andere Autoren Kanälchen schon als Vornierenreste, wenn ein Zusammenhang mit der geschlossenen Urniere fehlt oder Verbindungen mit dem Coelomepithel vorhanden sind. Es ist hierbei aber zu bedenken, dass unsere Kenntnisse über die Urniere beim Menschen, speziell das zeitliche Einsetzen und die Art ihrer Rückbildung, doch nur sehr mangelhaft sind. Zudem hat neuerdings besonders Robert Meyer (1904) nach Untersuchungen am Meerschweinchen und Befunden beim Menschen wieder betont, dass sekundär Verbindungen von ausgebildeten Urnierensegmenten mit dem Coelomepithel sehr häufig, vielleicht selbst regelmässig für eine kurze Zeit der Entwicklung entstehen. Darauf, dass zweitens ein in die Leibeshöhle hereinhängender Gefässknäuel nicht ohne weiteres als äusseres Glomus anzusprechen ist, hat Keibel (1905) an der Hand von Befunden bei Affen und Tarsius hingewiesen.

Bei der Unsicherheit, die demnach in der Frage der Vornierenrudimente bei menschlichen Embryonen noch herrscht und die ihren deutlichsten Ausdruck darin findet, dass nie von

Vornierenrudimenten schlechtweg, sondern stets nur von „sogenannten Vornierenrudimenten“ gesprochen wird, ist es erforderlich, zunächst einmal möglichst ein grösseres Tatsachenmaterial zu sammeln und zu sichten, besonders da aus den vorliegenden Untersuchungen jetzt schon soviel hervorgeht, dass die Befunde individuell sehr verschieden sein können. Ich hatte nun Gelegenheit eine grössere Anzahl menschlicher Embryonen aus der 3. bis 7. Woche auf die in Frage kommenden Verhältnisse untersuchen zu können. Es handelt sich um Serienschnitte zum Teil ausgezeichnet fixierter Embryonen, die mir von Herrn Geheimrat Gasser für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt wurden. Für eine Reihe von Fällen lagen schon weitgehende Vorarbeiten in Form graphischer Rekonstruktionen vor, die ich ebenfalls benutzen durfte. Um über die Ausbildung der Urniere und eventuell vorhandener Rudimente, sowie ihre gegenseitige Lage in jedem Falle eine bequeme Uebersicht zu erhalten, wurden genauere graphische Rekonstruktionen ausgeführt. Solche Rekonstruktionen müssen zwar halbschematisch gehalten werden, damit die einzelnen Teile sich nicht gegenseitig decken, haben aber gegenüber den plastischen Rekonstruktionen den Vorteil des Zeitgewinnes und auch der Anschaulichkeit, da von dreidimensionalen Rekonstruktionen doch in der Abbildung schematische Projektionen gemacht werden müssten um alles zeigen zu können. Solche plastische Rekonstruktion wurde zudem in einem speziellen Falle auch von mir ausgeführt.

Es wurden insgesamt 14 menschliche Embryonen untersucht und die Verhältnisse ihrer Urnieren graphisch rekonstruiert. Zur Bestimmung der segmentalen Höhe der Befunde habe ich mich dem Vorbilde Tandlers folgend an die von der Aorta ausgehenden Segmentalarterien gehalten; nur bei den älteren Embryonen, deren Gefässsystem schon nicht unbeträchtliche Veränderungen durchgemacht hat, wurden zur Bestimmung ausserdem die Spinalnerven benutzt. Ich

will nun zunächst die Beschreibung des Befundes der einzelnen Embryonen geben, um daran die zusammenfassende Erörterung anzuschliessen. Ich werde mich in dieser Mitteilung ausser der Vorniere auf das craniale Ende der Urniere und die hier auftretenden Rudimente und Reduktionserscheinungen beschränken.

**I. Menschlicher Embryo, grösste Länge 4 mm.**

(Angeführt in der Normentafel von Keibel und Elze, Tabelle 10.)

Linke Seite. In der Höhe des Abganges der vierten Cervicalarterie findet sich ein kleines Bläschen, das von einer Lage Cylinderzellen, die ein enges Lumen einschliessen, gebildet wird; das Bläschen liegt in einer Hülle von Mesenchymzellen direkt dorsal an der Vena cardinalis posterior. Wenige Schnitte weiter caudalwärts, knapp vor dem Abgang der fünften Cervicalarterie findet sich ein ganz gleiches Bläschen medial an der Vena cardinalis; dieses Bläschen ist durch einen Strang epithelialer Zellen medioventral an der Vene vorbei mit dem Coelomepithel verbunden.

Die eigentliche, in sich geschlossene Urniere beginnt in der Höhe des Abganges der achten Cervicalarterie mit Wolff'schem Gange und Segmentalbläschen. Der Wolff'sche Gang liegt direkt unter dem Coelomepithel, mit dem er stellenweise zusammenhängt, ventrolateral von der Vena cardinalis posterior. Seine Wandung besteht aus einer Lage Cylinderzellen, das Lumen ist sehr eng. Die Segmentalbläschen liegen ventromedial von der Vena cardinalis im Urnierenwulst direkt neben dem Wolff'schen Gange, in den sie sich noch nicht eröffnet haben. Sie sind anfangs sehr klein, zum Teil enthalten sie noch kein Lumen; ihre Wand wird aus einer Lage niedriger Cylinderzellen gebildet. Die Segmentalbläschen folgen eines direkt auf das andere, auf ein Körpersegment kommen zwei bis drei von ihnen.

Rechte Seite. In der Höhe des Abganges der fünften Cervicalarterie findet sich lateral von der Vena cardinalis posterior eine Verdickung des Coelomepitheles, die in einen Zellzapfen übergeht, der sich zwischen die hier auf eine kurze Strecke in zwei Aeste geteilte Vena cardinalis hindurch nach dorsomedial schiebt und fast bis in die Höhe des Abganges der sechsten Cervicalarterie reicht. Der Zellzapfen enthält kein Lumen, die niedrig cylindrischen Zellen sind aber wie um ein virtuelles Lumen radiär angeordnet.

Die in sich geschlossene Urniere beginnt wenig caudal von dem Abgange der sechsten Cervicalarterie; sie verhält sich im wesentlichen wie links. Das Lumen des Wolff'schen Ganges ist auf kurze Strecken einigemal unterbrochen.

**II. Menschlicher Embryo, grösste Länge 5—6 mm.**

(Angeführt Normentafel Tabelle 15.)

Linke Seite. Die Urniere beginnt kurz nach dem Abgang der sechsten Cervicalarterie mit einem kleinen Kanälchen von etwa 70 $\mu$ Länge, welches direkt unter dem Coelomepithel ventrolateral von der Vena cardinalis posterior gelegen ist. Daran schliesst sich sofort das vollentwickelte Organ an mit Wolff'schem Gange, der ventrolateral von der Vena cardinalis sich findet, während die Malpighi'schen Körperchen, die durch typische gewundene Kanälchen in den Ausführungsgang münden, direkt ventral vor der Vene liegen. Das erste Urnierenkanälchen biegt scharf in den als seine Fortsetzung erscheinenden Wolff'schen Gang um. Die Grösse der Malpighi'schen Körperchen ist sehr verschieden, doch sind im allgemeinen die cranialen am grössten. Das 16. Urnierensegment ist sehr klein; es besteht aus schlecht entwickeltem Urnierenkörperchen mit kurzem, nicht bis an den Ausführungsgang heranreichenden blind geschlossenen Kanälchen. Sowohl Ausführungsgang als Segmentalkanälchen können stellenweise

ohne Lichtung sein; sie sind überall gut vom Coelomepithel abzugrenzen, Nephrostomata bestehen also nicht. Im ganzen besteht das Organ aus 36 Segmenten, die so verteilt sind, dass etwa drei auf ein Körpersegment entfallen. Die Mündungen benachbarter Urnierenkanälchen in den Wolff'schen Gang können konfluieren. Etwa 20 craniale Urnierensegmente zeigen gut entwickelte Malpighi'sche Körperchen und gewundene Kanälchen. Dann werden die Segmente in ihren beiden Abschnitten einfacher, bis die zehn letzten als einfache Segmentalbläschen erscheinen, die zum Teil noch durch kurze Kanälchen in den Ausführungsgang münden, dann nur noch ein Kanälchen bis an diesen heran senden, zum Schluss überhaupt noch kein Kanälchen entwickelt haben. Der Wolff'sche Gang mündet schliesslich in die Harnblasenbucht der Kloake ein. Von Nierenanlagen ist noch nichts zu entdecken.

Rechte Seite. Die Urniere beginnt in der Höhe des Abganges der siebenten Cervicalarterie mit einem kleinen Kanälchen, das fast genau dem der linken Seite in Lage und Ausdehnung entspricht. Dem legt sich direkt der Wolff'sche Gang an, der nach kurzem Verlauf das erste Urnierenkanälchen aufnimmt. Das erste und zweite Urnierenkanälchen sind kurz vor der Einmündung in den Ausführungsgang durch eine Queranastomose verbunden. Im übrigen verhält sich das Organ im wesentlichen wie links.

### III. Menschlicher Embryo, grösste Länge 5—6 mm.

Linke Seite. Die Urniere beginnt wenig caudal vom Abgang der sechsten Cervicalarterie mit Malpighischem Körperchen, das ventral vor der Vena cardinalis posterior unter dem Coelomepithel gelegen ist. Das von ihm ausgehende gewundene Kanälchen biegt in den Wolff'schen Gang um, der ventrolateral von der Vena cardinalis in eigner Falte lateral im Urnierenwulst gelegen als Fortsetzung dieses Kanälchen

erscheint. Das zweite Malpighi'sche Körperchen ist sehr gross, besonders die Bowman'sche Kapsel ist um ein beträchtliches grösser, als der gazu gehörige Gefässknäuel. Das gewundene Kanälchen steht nicht mit dem Urnierenkörperchen in Verbindung, sondern legt sich mit blindgeschlossenem Ende an die Kapsel an, während das andere Ende in den Wolff'schen Gang sich öffnet. Weiterhin zeigt die Urniere keinen bemerkenswerten Befund, Details sind kaum festzustellen, da die Schnitte zum Teil sehr lädiert sind.

Rechte Seite. Die Urniere beginnt kurz vor dem Abgang der sechsten Cervicalarterie mit isoliertem, gut entwickeltem Malpighi'schen Körperchen, das direkt unter dem Coelomepithel ventral vor der Vena cardinalis liegt. An einer Stelle ist die Kapsel vom Coelomepithel nicht scharf abzugrenzen. Es findet sich keine Andeutung eines gewundenen Kanälchens. Das nächste Urnierenkörperchen liegt, sich caudal sofort anschliessend, unter dem Coelomepithel in gleicher Lage zur Vena cardinalis. Sein gewundenes Kanälchen biegt in ähnlicher Weise, wie es für die linke Seite beschrieben wurde, in den Wolff'schen Gang um. Die nächsten Urnierensegmente sind zum Teil unvollständig. Zunächst folgt ein Urnierenkörperchen mit kleinem Glomerulus in der cranialen, grossem in der caudalen Hälfte. Neben dem cranialen Glomerulus geht ein gewundenes Kanälchen ab mit streckenweise unterbrochener Lichtung. Dann ist sehr bald das Kanälchen völlig unterbrochen; in seiner Fortsetzung folgt der zumeist lumenlose Rest, der sich ventral vor dem Malpighi'schen Körperchen unter dem Coelomepithel zum Wolff'schen Gang schiebt. Von der caudalen Hälfte desselben Malpighi'schen Körperchen geht ein gut entwickeltes gewundenes Kanälchen zu dem Ausführungsgang. Das nächste Malpighi'sche Körperchen ist sehr gross, besonders die Bowman'sche Kapsel sehr geräumig, das gewundene Kanälchen legt sich mit blindgeschlossenem Ende an die Kapsel nur an. Die weiteren Urnierensegmente zeigen zunächst keine Besonderheiten. Infolge der

starken Embryonalkrümmung werden in einem Schnitt meist mehrere Malpighi'sche Körperchen getroffen.

**IV. Menschlicher Embryo, grösste Länge 6,75 mm.**
(Angeführt Normentafel Tabelle 21.)

Linke Seite. Die Urniere beginnt in der Mitte zwischen siebenter und achter Cervicalarterie mit gut entwickeltem Malpighi'schem Körperchen, welches ventromedial vor der Vena cardinalis posterior gelegen ist. Das von dem Urnierenkörperchen ausgehende gewundene Kanälchen scheint — der Schnitt ist etwas lädiert — lateral vor der Vena cardinalis entlang lanfend in den Wolff'schen Gang umzubiegen, der in eigener Falte direkt unter dem Coelomepithel ventrolateral von der Vene gelegen als Fortsetzung dieses ersten Urnierenkanälchens erscheint. Direkt ventral vor dem ersten Urnierenkörperchen liegt unter dem etwas vorgebuchteten Coelomepithel ventromedial von der Vene ein kleines Bläschen, dessen Wand aus niedrig-cylindrischem Epithel besteht. Es ist nur in drei Schnitten (à 15 $\mu$) nachweisbar; der caudale Pol des Bläschens ist gegen das Coelomepithel nicht scharf abzugrenzen. Das Wolff'sche Organ zeigt weiterhin die charakteristische Entwicklung. Der Ausführungsgang nimmt von medial die gewundenen Kanälchen auf, an deren Einmündungsstellen er zumeist etwas erweitert, dazwischen oft streckenweise ohne Lichtung ist. Die Urnierenkörperchen sind gut entwickelt, haben keine Verbindung mit dem Coelomepithel. Die gewundenen Kanälchen lassen deutlich zwei Abschnitte unterscheiden. An die Bowman'sche Kapsel schliesst sich ein erweiterter Teil mit hellem, hohem Cylinderepithel an, der dann folgende in den Ausführungsgang mündende Abschnitt ist sehr eng mit niedrigem, kubischem Epithel. Auf ein Körpersegment kommen etwa drei Urnierensegmente.

Rechte Seite. Etwa in der Mitte zwischen sechster und siebenter Cervicalarterie liegt ventromedial vor der Vena

cardinalis posterior in gewissem Abstande vom Coelomepithel ein kleiner, in drei Schnitten à 15 $\mu$ nachweisbarer Zellhaufen, dessen niedrig cylindrische Zellen radiär wie um ein virtuelles Lumen gestellt sind. Dann folgt kurz vor dem Abgang der siebenten Cervicalarterie in gleicher Lage ein kleiner Zellstreifen, ebenfalls nur in drei Schnitten nachweisbar, dessen epitheliale Zellen eine charakteristische Anordnung nicht zeigen. Die in sich geschlossene Urniere beginnt einige Schnitte weiter caudal in der Mitte zwischen siebenter und achter Cervicalarterie in ganz ähnlicher Weise wie links und verhält sich auch weiterhin fast genau so. Nur findet sich nicht das oben erwähnte kleine Bläschen neben dem ersten linken Urnierenkörperchen. In der Rekonstruktion kommen die Windungen der Kanälchen rechts deutlicher zum Ausdruck als links, weil sie mehr in craniocaudaler Richtung sich ausdehnen, während sie links häufig mehr in der Ebene der Schnittrichtung gelegen sind.

**V. Menschlicher Embryo, grösste Länge 6—7 mm.**

Linke Seite. Die Urniere beginnt kurz cranial vor dem Abgang der siebenten Cervicalarterie. Der Wolff'sche Gang, in dessen craniales Ende das erste gewundene Kanälchen mündet, ist auf eine kurze Strecke von dem Coelomepithel nicht abzugrenzen. Die Malpighi'schen Körperchen sind verschieden gross, die gewundenen Kanälchen zeigen deutlich die zwei durch ihr verschiedenes Epithel unterschiedenen Abschnitte. Die Teile liegen in üblicher Anordnung ventral vor der Vena cardinalis.

Rechte Seite. Die Urniere beginnt etwa in der Mitte zwischen sechster und siebenter Cervicalarterie mit isoliertem kurzen Kanälchen, das in ein kleines Malpighi'sches Körperchen übergeht. Dann folgt ein grosses Malpighi'sches Körperchen mit relativ kleinem Glomerulus, das sich durch ein kurzes Nephrostomalkanälchen in das Coelom öffnet; von ge-

wundenem Kanälchen ist keine Andeutung vorhanden. Nun schliesst sich ein voll entwickeltes Urnierensegment an, dessen gewundenes Kanälchen in den Wolff'schen Gang mündet. Letzterer liegt an gewohnter Stelle ventrolateral vor der Vena cardinalis posterior und überragt die Einmündung dieses ersten gewundenen Drüsenkanälchens. Er hängt nirgends mit dem Coelomepithel zusammen. Dem ersten vollentwickelten Urnierensegment folgt erst wieder ein isoliertes Malpighi'sches Körperchen mit relativ sehr kleinem Gefässknäuel, dann erst die Reihe der gut entwickelten Urnierensegmente, deren erstes eine sehr grosse Bowman'sche Kapsel mit kleinem Gefässknäuel besitzt. Die Lage der Teile ventral vor der Vena cardinalis ist die gewöhnliche.

**VI. Menschlicher Embryo, grösste Länge 8 mm.**

Linke Seite. Es findet sich direkt caudal von dem Abgange der sechsten Cervicalarterie und im Bogen der Subclavia gelegen ein von cubischen Zellen gebildeter feiner Epithelschlauch mit sehr engem, stellenweise unterbrochenem Lumen. Das Kanälchen liegt mediodorsal von der Vena cardinalis in ihrem Bindegewebsmantel, rückt dann in seinem Verlaufe caudalwärts an die medioventrale Seite der Vene, immer in ihrem Mesenchymmantel gelegen. Von caudal schiebt sich gegen diesen Epithelschlauch eine trichterförmige Coelomepitheleinstülpung vor; in diese wiederum hängt von cranial her in gradliniger Fortsetzung des Epithelschlauches ein von cubischem Epithel überzogener Gewebszapfen, in den ein Ästchen aus der Vena cardinalis zu verfolgen ist, herein. Das Lumen des Epithelschlauches geht nicht direkt in den Coelomepitheltrichter oder den Gewebszapfen über, sondern endet blind an der Wurzel des letzteren.

Die Urniere selbst beginnt in der Höhe des Ursprunges der achten Cervicalarterie mit gut entwickeltem Urnierenkörperchen; das von diesem ausgehende gewundene Kanälchen

biegt in den als seine Fortsetzung erscheinenden Wolff'schen Gang um; es ist ohne Lumen. Das Organ bietet keinen bemerkenswerten Befund. Die Lage zur Vena cardinalis ist wie gewöhnlich, Verbindungen mit dem Coelomepithel bestehen nicht, der Ausführungsgang ist zwischen den Einmündungsstellen der gewundenen Kanälchen zumeist verengt. Die Bowmann'schen Kapseln sind grösser als den Glomeruli entspricht. Auf ein Körpersegment kommen etwa drei Urnierensegmente.

Rechte Seite. Die Urniere beginnt in fast gleicher Weise wie links in der Höhe der achten Cervicalarterie. Die Bowmann'sche Kapsel des ersten, direkt unter dem Coelomepithel liegenden Urnierenkörperchen, öffnet sich an einer kleinen Stelle in die Leibeshöhle und hängt an einer zweiten Stelle daneben durch einen Zellzapfen mit dem Coelomepithel zusammen. Cranial vor dem Kanälchen, das von diesem Urnierenkörperchen ausgehend in den Wolff'schen Gang umbiegt, findet sich noch ein kleiner Epithelkanal, der zur übrigen Urniere und dem Coelomepithel keine direkte Verbindung hat. Die Urniere verhält sich im wesentlichen sonst wie links.

**VII. Menschlicher Embryo, grösste Länge 8 mm.**

(Angeführt Normentafel Tabelle 24.)

Linke Seite. Etwas cranial vor der sechsten Cervicalarterie finden sich lateral neben der Aorta, dorsal von der Vena cardinalis posterior ein kleines Kanälchen von etwa 40 $\mu$ Länge, aus Cylinderzellen, die ein enges Lumen umschliessen, gebildet und ein kurzer etwa 20 $\mu$ langer Zapfen epithelialer Zellen medial daneben. Die Urniere beginnt wenig caudal von der siebenten Cervicalarterie mit sehr kleinem Urnierenkörperchen, das ventromedial von der Vena cardinalis posterior im Urnierenwulst gelegen ist. Das von ihm ausgehende gewundene Kanälchen verläuft nach lateral und vereinigt sich mit dem Kanälchen des zweiten Urnieren-

segmentes zur Bildung des ventrolateral neben der Vena cardinalis direkt unter dem Coelomepithel gelegenen Wolff-schen Ganges. Das zweite Urnierenkörperchen ist ebenfalls noch sehr klein, seine Bowmann'sche Kapsel öffnet sich durch ein kurzes weites Kanälchen in die Leibeshöhle, in welche der Glomerulus sich herausdrängt. Weiterhin werden die Urnierenkörperchen grösser, besonders ist die Bowmann'sche Kapsel oft auffallend weit im Verhältnis zu dem dazu gehörigen Gefässknäuel. Die Kanälchen sind typisch gewunden und lassen deutlich die schon im Falle IV genauer beschriebenen zwei Abschnitte unterscheiden. Das Kanälchen des vierten Urnierensegmentes geht nicht aus der Bowmann-schen Kapsel hervor, sondern legt sich mit blind geschlossenem Ende an diese an. Die starke Krümmung des Embryo hat zur Folge, dass die Urnierensegmente zum Teil im Schnitt vor einander zu liegen kommen.

Der Wolff'sche Gang liegt ventrolateral vor der Vena cardinalis posterior direkt unter dem Coelomepithel, von dem er stellenweise nicht sicher abzugrenzen ist; zwischen den Einmündungsstellen der gewundenen Kanälchen fehlt streckenweise ein Lumen des Wolff'schen Ganges.

Rechte Seite. In der Höhe des Abganges der fünften Cervicalarterie findet sich lateral neben der Aorta, dorsal von der Vena cardinalis post. ein kleines Kanälchen, dessen Wand aus Cylinderzellen besteht, welche das sehr enge Lumen umsäumen. Das caudale Ende des Kanälchen ist hakenförmig nach medial umgebogen, an der Umbiegungsstelle ist ein Lumen nicht vorhanden. Die Länge des Kanälchen beträgt ca. 60 $\mu$. Direkt caudal daran anschliessend findet sich ein zweites, etwa 30 $\mu$ langes Kanälchen gleichen Baues in der gleichen Lage zu den grossen Gefässen. Die Urniere selbst beginnt in der Höhe des Ursprunges der siebenten Cervicalarterie mit kleinem Urnierenkörperchen, das ventromedial an der Vena cardinalis post. in der Tiefe des Urnierenwulstes liegt. Das von ihm ausgehende Kanälchen läuft nach ven-

trolateral und vereinigt sich mit dem Kanälchen des zweiten Urnierenkörperchens, welches in gleicher Weise wie das erste neben der Vena cardinalis gelegen ist; das aus dieser Vereinigung entstandene Stämmchen verläuft nach ventrolateral bis gegen das hier etwas verdickte und unscharf begrenzte Coelomepithel, um ventral vor der Vena cardinalis nach caudal umzubiegen zur Bildung des Wolff'schen Ganges. Dieser liegt ventral vor der Vene direkt unter dem Coelomepithel, es zu einer Falte vorbuchtend. Das unn wieder scharf abzugrenzende Coelomepithel an seiner lateralen Seite ist auf eine kurze Strecke weit verdickt (Anlage des Müller'schen Ganges?) zu einer nach der Tiefe sich einwölbenden Leiste. Der Wolff'sche Gang und die Urnierensegmente verhalten sich in allen wesentlichen Punkten wie links.

Der Wulst an der dorsalen Wandung der Leibeshöhle, welcher in der Fortsetzung des Urnierenwulstes sich in das Coelom als Venacardinaliswulst vorwölbt, ist in der Höhe der beiderseitigen Kanalrudimente, welche oben erwähnt wurden, von einer Reihe longitudinaler Furchen zerteilt, sodass der ganze Wulst in mehrere Längsleisten zerlegt wird, von denen besonders deutlich je zwei an der Grenze gegen das Mesenterium dorsale in die Leibeshöhle hereinhängen. Dadurch dass bis in diese Leisten einige Venenstämmchen zu verfolgen sind und die Oberfläche der Leisten uneben höckerig ist, kann im Querschnitt das Bild fast wie ein äusseres Glomus entstehen, ohne dass aber ein solches einwandfrei zu erweisen wäre.

**VIII. Menschlicher Embryo, grösste Länge 8 mm.**

(Angeführt Normentafel Tabelle 31.)

Linke Seite. Die Urniere beginnt in der Höhe des Abganges der ersten Thoracalarterie. Der Wolff'sche Gang liegt ventrolateral von der Vena cardinalis posterior, die Urnierenkörperchen und gewundenen Kanälchen ventromedial

und ventral vor der Vene. Das craniale Ende des Wolff'schen Ganges ist nach medial etwas umgebogen und endet blind. Medial daneben liegt das erste Urnierenkörperchen isoliert ohne gewundenes Kanälchen. Ein kleines Kanalbruchstück liegt in seiner Nähe. Cranial vor dem Wolff'schen Gange liegt noch ein kurzes, beiderseits blind geschlossenes Kanälchen direkt unter dem Coelomepithel in einer Vorbuchtung der Coelomwand. Sowohl Ausführungsgang als gewundene Kanälchen enthalten streckenweise keine Lichtung.

Rechte Seite. In der Höhe zwischen siebenter und achter Cervicalarterie findet sich dorsomedial von der Vena cardinalis posterior neben der Aorta ein sich über sieben Schnitte erstreckendes Kanälchen, das von Cylinderzellen gebildet wird, welche ein sehr enges Lumen umschliessen. Medial neben dem caudalen Ende dieses Kanälchens liegt ein ganz ähnliches, nur in drei Schnitten nachweisbares mit relativ weitem Hohlraum.

Die Urniere beginnt caudal von der achten Cervicalarterie in ganz ähnlicher Weise wie links. Medial neben dem cranialen Ende des blind endigenden Wolff'schen Ganges liegt noch ein kurzes beiderseits blind geschlossenes Kanälchen. Ausserdem liegt direkt cranial vor Wolff'schem Gang und erstem vollständigem Urnierensegment ein gut entwickeltes Malpighisches Körperchen ohne Andeutung eines Urnierenkanälchens, lateral davon nahe unter dem Coelomepithel ein kurzer beiderseits mit freier Spitze endigender Epithelzellenstrang, sowie ein etwas längeres gewundenes Kanälchen, das cranial blind geschlossen mit seinem caudalen Ende frei in die Leibeshöhle mündet. Direkt caudal von dieser Mündung ragt von der Coelomwand ein kleiner kugeliger Anhang auf dünnem Stielchen in die Leibeshöhle herein.

Die gewundenen Kanälchen sind streckenweise ohne Lichtung, das Kanälchen des dritten Urnierensegmentes ist unterbrochen und das dazugehörige Urnierenkörperchen isoliert.

**IX. Menschlicher Embryo, grösste Länge 8,75 mm.**
(Angeführt Normentafel Tabelle 35.)

Linke Seite. In der Höhe zwischen fünfter und sechster Cervicalarterie findet sich ein über zwölf Schnitte à 15 $\mu$ sich erstreckendes Kanälchen resp. ein Epithelzellenstrang, dorsomedial von der Vena cardinalis posterior im Niveau des dorsalen Umfanges der Aorta gelegen. In seiner cranialen Hälfte ist es ein von Cylinderzellen gebildetes Kanälchen mit sehr enger Lichtung, dann ist das Lumen an einem Schnitte in der Mitte der Gesamtlänge des Rudimentes unterbrochen — es lässt sich nicht entscheiden, ob nicht vielleicht das Kanälchen hier endet und sofort in seiner Fortsetzung ein zweites beginnt — um noch einmal im nächsten Schnitt aufzutreten; hier liegt die Lichtung aber excentrisch, indem die mediale Wandung in mehrschichtiger Zelllage als Zapfen gegen das Lumen vorspringt. Weiterhin besteht dann nur ein solider Zellstrang mit anfangs radiär gestellten Zellen, schliesslich lassen die Zellen eine solche Anordnung nicht mehr erkennen.

In der Höhe des Abganges der sechsten Cervicalarterie nimmt ventromedial vor der Vena cardinalis posterior ein Streifen epithelialer Zellen vom Coelomepithel seinen Ursprung und zieht sich, über vier Schnitte à 15 $\mu$ nachweisbar, zum Mesenchymmantel der Vena cardinalis hin um in ihm ein Stück weit medial um die Vene herum nach cranial und dorsal zu verlaufen und dorsomedial von der Vene zu enden. Der Zellstreifen besitzt keinen eignen Mesenchymmantel und ist vom umgebenden Bindegewebe nicht überall ganz scharf abgesetzt; die Zellen zeigen keine radiäre oder sonstwie characteristische Anordnung. Das Coelomepithel in dieser Region und noch etwas weiter caudalwärts springt im Winkel gegen das Mesenterium dorsale ventromedial vor der Vena cardinalis mit einigen unregelmässigen Längsfalten in die Leibeshöhle vor.

Der Wolff'sche Gang beginnt in der Höhe des Abganges der siebenten Cervicalarterie; er liegt direkt unter dem Coelomepithel, von dem er wohl infolge der Schnittrichtung nicht überall scharf abzusetzen ist, ventrolateral vor der Vena cardinalis posterior. Die ersten Urnierensegmente sind sehr unvollständig. Zunächst findet sich noch cranial vor dem Abgang der siebenten Cervicalarterie und cranial vor dem Wolff'schen Gange direkt unter dem Coelomepithel ventromedial vor der Vena cardinalis posterior ein kleines Kanälchen in einer Falte, die gegen die Leibeshöhle sich vorbuchtet. In gleicher Höhe liegt medial neben der Vena cardinalis ein kleines, gut entwickeltes Malpighi'sches Körperchen. Es zieht ein Streifen epithelial aussehender Zellen von diesem Malpighi'schen Körperchen gegen das oben erwähnte Kanälchen, von dem selbst wieder ein gleicher kurzer Zellstrang sich gegen das Coelomepithel erstreckt.

Dann folgen direkt unter dem Coelomepithel in der Höhe des Abganges der siebenten Cervicalarterie ventromedial von der Vena cardinalis drei kleine unvollkommen entwickelte Malpighi'sche Körperchen; die beiden ersten grenzen hart aneinander, scheinen aber nicht zusammen zu hängen. Das erste Malpighi'sche Körperchen zeigt ein weites kurzes Nephrostomalkanälchen. An den Bowmann'schen Kapseln dieser drei Körperchen sind keine Andeutungen von abgehenden gewundenen Kanälchen zu finden. Dagegen laufen in gleicher Höhe wie diese Malpighi'schen Körperchen gelegen und direkt neben ihnen beginnend, zwei gewundene Kanälchen ventral vor der Vena cardinalis zum Wolff'schen Gange, in dessen craniales Ende sie einbiegen. Die gewundenen Kanälchen lassen deutlich den characterischen engeren und weiteren Schenkel unterscheiden.

Nun schliesst sich der gut entwickelte Teil der Urniere an. So folgen noch zwischen siebenter und achter Cervicalarterie zwei typische gewundene Kanälchen mit grossen gut entwickelten Urnierenkörperchen, deren craniales ein weites

Nephrostomalkanälchen besitzt, durch welches der Glomerulus sich zum Teil herausdrängt. Zwischen den beiden Malpighi'schen Körperchen liegt direkt unter dem Coelomepithel und von ihm an seinem cranialen Ende nicht sicher abzugrenzen ein kurzes Kanälchen, dessen Wand aus radiär angeordneten Cylinderzellen gebildet wird.

Rechte Seite. In der Höhe des Abganges der fünften Cervicalarterie liegt dorsomedial von der Vena cardinalis ein kleines, über drei Schnitte à 15 $\mu$ sich erstreckendes Kanälchen, dessen Wand aus Cylinderzellen gebildet wird. Nach wenigen Schnitten folgt in gleicher Lage zur Vena cardinalis ein kurzes Kanälchen, dessen Lumen aber excentrisch liegt, in dem die dorsale Wandung zapfenförmig nach innen sich vorbuchtet. Dieses Kanälchen setzt sich in einen soliden Zellstreifen fort, der sich noch über einige Schnitte nach caudal, direkt dorsomedial am Mesenchymmantel der Vena cardinalis post. gelegen, verfolgen lässt. Die Zellen dieses soliden Stranges zeigen keine irgendwie characteristische Anordnung und sind durch keinen Mesenchymmantel gegen das übrige Bindegewebe abgesetzt. Kanälchen und Zellstrang erstrecken sich zusammen über acht Schnitte à 15 $\mu$.

Es folgt nun in der Höhe der sechsten Cervicalarterie, ein ganz ähnlicher Zellstreifen, der sich über drei Schnitte à 15 $\mu$ erstreckt, aber ventromedial am Mesenchymmantel der Vena cardinalis gelegen ist. Eine Verbindung zu obigen dorsomedial an der Vene gelegenen Zellstreifen liess sich nicht nachweisen.

Schliesslich folgt etwas cranial vom Abgange der siebenten Cervicalarterie dorsomedial an der Vena cardinalis im Niveau des dorsalen Aortenumfanges ein ganz kleines Malpighi'sches Körperchen, an dessen Kapsel sich ein wie die obigen gestalteter Zellstrang anschliesst, der direkt am Mesenchymmantel der Vene spiralig an ihrer medialen Seite herumläuft um nach wenigen Schnitten ventromedial von ihr zu enden. Diese ganze Bildung erstreckt sich über fünf Schnitte à 15 $\mu$.

Der Wolff'sche beginnt in der Höhe des Abganges der siebenten Cervicalarterie; seine Lage ist die gleiche wie links. Sein craniales Ende läuft in einen soliden Zellzapfen aus, dessen Zellen auch nicht mehr radiäre Anordnung zeigen; an einer kleinen Stelle ist der Gang nicht scharf vom Coelomepithel abzugrenzen. Die ersten Urnierensegmente sind auf dieser Seite sogleich vollentwickelt. So liegen zwischen siebenter und achter Cervicalarterie drei typische gewundene Kanälchen mit gut entwickelten Urnierenkörperchen, deren cranialstes ein kurzes enges Nephrostomalkanälchen besitzt, während das zweite nur an einigen Stellen dem Coelomepithel so dicht anliegt, dass es mit ihm zusammenzuhängen scheint, das dritte dagegen keine besonderen Bildungen aufweist. Die Einmündungsstelle des ersten gewundenen Kanälchen liegt nicht ganz am cranialen Ende des Wolff'schen Ganges.

**X. Menschlicher Embryo, grösste Länge 8—9 mm.**

Linke Seite. In der Höhe des Abganges der fünften Cervicalarterie liegt dorsal an der Vena cardinalis post. ein kleines, etwa 40 $\mu$ langes Kanälchen, das aus Cylinderzellen, die ein enges Lumen umschliessen, gebildet wird. In der Höhe des Abganges der sechsten Cervicalarterie findet sich ebenfalls dorsal an der Vena cardinalis ein kleines gut entwickeltes Malpighi'sches Körperchen, das sich im ganzen über acht Schnitte à 10 $\mu$ erstreckt; seine Bowmann'sche Kapsel hat nach caudal einen kurzen stumpfen Fortsatz. Direkt am caudalen Ende dieses Malpighi'schen Körperchen beginnt, lateral hart neben ihm und dorsal an der Vena cardinalis gelegen, ein kleines von Cylinderzellen gebildetes Kanälchen. Es spaltet sich in zwei Schenkel, deren medialer nach wenigen Schnitten endet, während der längere laterale durch die hier in zwei Aeste geteilte Vena cardinalis hindurch verlaufend auf ihre ventrale Seite zu liegen kommt und hier noch eine Strecke nach caudal verläuft um blind direkt unter dem Coelomepithel

zu enden. Letzteres ist hier gegen das von cranial kommende Kanälchen eine kurze Strecke weit kanalförmig eingebuchtet. Die Gesamtlänge des Kanälchen beträgt etwa 150 $\mu$.

Der Wolff'sche Gang beginnt in der Mitte zwischen siebenter und achter Cervicalarterie ventrolateral von der Vena cardinalis. Er verläuft von dem Coelomepithel, welches er stellenweise vorbuchtet, stets gut abgegrenzt caudalwärts; seine Lichtung ist anfangs sehr eng, nur an den Einmündungsstellen der gewundenen Kanälchen erweitert, nimmt caudalwärts immer mehr an Kaliber zu. Das erste Urnierensegment reicht mit seinem sehr grossen und gut entwickelten Malpighischen Körperchen bis in die Höhe des Abganges der siebenten Cervicalarterie; sein craniales Ende liegt dorsal von der Vena cardinalis, windet sich dann um deren mediale Seite herum, bis es ventral von ihr zu liegen kommt. Das anschliessende gewundene Kanälchen lässt deutlich den characteristischen engeren und weiteren Schenkel unterscheiden und mündet in das craniale Ende des Wolff'schen Ganges ein, der anfangs gradezu als seine Fortsetzung erscheint. Nun folgt nach kurzem Abstande in der Höhe des Abganges der achten Cervicalarterie die in sich geschlossene Urniere mit vollkommen und characteristisch entwickelten Segmenten. Die Urnierenkörperchen sind sehr verschieden gross, besonders wechselt die relative Grösse der Gefässknäuel, welche die Bowmann'sche Kapsel ganz füllen können oder ein grosses Stück von ihr offen lassen. Verbindungen mit dem Coelomepithel finden sich nicht.

Rechte Seite. Cranial vor dem Abgang der siebenten Cervicalarterie liegt ein kurzes, etwa 40 $\mu$ langes Kanälchen dorsal an der Vena cardinalis post.; es wird von niedrigen Cylinderzellen gebildet.

Der Wolff'sche Gang beginnt in der Höhe des Abganges der achten Cervicalarterie; sein Verhalten ist im wesentlichen wie links. Das erste Urnierensegment besteht aus einem sehr grossen Malpighi'schen Körperchen, dessen Gefässknäuel

relativ klein ist, sodass die Kapsel weit offen klafft. Das craniale Ende liegt medial neben der Vena cardinalis, schiebt sich dann mehr ventral in die Lage, die sonst die Urnierenkörperchen ventromedial von der Vene einnehmen. Das Urnierenkanälchen ist lang und in weiter Schleife gewunden; es biegt in das craniale Ende des Wolff'schen Ganges um, der wiederum gradezu als seine Fortsetzung erscheint. Das andere Ende mündet nicht in die Bowmann'sche Kapsel des oben erwähnten Körperchens, sondern endet ihr direkt anliegend blind. Dann folgen die weiteren Urnierensegmente, von denen besonderes nicht zu erwähnen ist. Nur liegt zwischen drittem und viertem Urnierensegment ventral vor der Vena cardinalis ein kurzes gewundenes Kanälchen, das weder zu Ausführungsgang noch einem Urnierenkörperchen Beziehungen hat, sondern beiderseits blind endet.

**XI. Menschlicher Embryo, grösste Länge 11,5 mm.**

Die Urniere beginnt beiderseits in der Höhe des achten Thoracalnerven. Sie zeigt am cranialen Ende schon deutliche Rückbildungserscheinungen: die ersten Urnierensegmente sind in einzelne Stücke zersprengt, die Malpighi'schen Körperchen isoliert und zum Teil verödet, die gewundenen Kanälchen zum Teil ohne Lichtung, oft unterbrochen, sodass die Bruchstücke nicht mehr aneinander gereiht werden können. Auch der Wolff'sche Gang ist anfangs nur ein solider Zellstrang. Weiter caudal steht die Urniere dann auf der Höhe der Entwicklung; sie zeigt hier keinen besondern Befund. Der Müller'sche Gang beginnt am cranialen Ende der Urniere mit Coelomtrichter, der sich weiterhin zum Rohre schliesst, das dann lateral neben dem Wolff'schen Gang unter dem Coelomepithel entlang zieht um sehr bald wieder als solider Zellzapfen blind neben Wolff'schem Gange zu enden, dabei links hier mit dem Coelomepithel zusammenhängend.

**XII. Menschlicher Embryo, grösste Länge 12,4 mm.**
(Angeführt Normentafel Tabelle 53.)

Links findet sich etwas caudal nach dem Austritt des sechsten Cervicalnerven cranial vor Arteria subclavia, medial am Grenzstrang des Sympathicus und dorsal von den grossen Gefässen ein kurzes aus Cylinderzellen gebildetes Epithelrohr mit sehr engem Lumen in eigner Bindegewebsscheide. Ein ganz ähnliches Kanälchen in gleicher Lage zu den Gefässen und dem Sympathicus findet sich kurz caudal nach dem Austritt des siebenten Cervicalnerven.

Die Urniere beginnt links etwa in der Höhe des vierten, rechts des dritten Thoracalnerven. Die Urnierensegmente sind eng zusammengeschoben und zeigen am cranialen Ende des Organes deutliche Reduktionserscheinungen. Die Malpighi'schen Körperchen beginnen zu veröden, die Urnierenkanälchen zerfallen in einzelne, oft lumenlose Bruchstücke, der Wolff'sche Gang ist oft streckenweise ohne Lichtung. Der Müller'sche Gang ist noch sehr kurz. Er beginnt beiderseits fast am apicalen Pol der Urniere mit weitem Coelomtrichter, verläuft als dickwandiges Kanälchen unter dem Coelomepithel, mit dem er noch stellenweise zusammenhängt, lateral neben dem Wolff'schen Gang, um dann bald mit blind geschlossenem Ende, das mit dem Coelomepithel zusammenhängt, zu enden. Die Keimdrüse reicht etwa bis in die Höhe des siebenten Thoracalnerven an der Urniere herauf.

**XIII. Menschlicher Embryo, grösste Länge 13 mm.**
(Angeführt Normentafel Tabelle 62.)

Die Urniere beginnt beiderseits etwa in der Höhe des Austrittes des achten Thoracalnerven; sie zeigt weitgehende Reduktionserscheinungen an ihrem cranialen Ende: Verödung der Malpighi'schen Körperchen, Zerfall der Urnierenkanälchen in einzelne Bruchstücke, deren Lumen häufig schon verloren ist; der Wolff'sche Gang ist streckenweise ohne Lichtung.

Der Müller'sche Gang beginnt am cranialen Ende der Urniere mit weitem Fimbrientrichter und ist schon eine lange Strecke hin ausgebildet. Das craniale Ostium des Ganges ist auf der linken Seite rinnenförmig gestaltet und verläuft quer über den schon schmaler gewordenen Urnierenwulst, rechts ist es mehr circumscript und liegt lateral am Urnierenwulst. Der Müller'sche Gang verläuft dann direkt unter dem Coelomepithel lateral neben dem Wolff'schen Gange nach caudal weiter. Die Keimdrüse reicht fast bis an das craniale Ende der Urniere. In der Höhe zwischen drittem und viertem Thoracalnerven liegen rechts medial am Grenzstrang des Sympathicus, dorsal von den grossen Gefässen zwei Kanälchen, die aus Cylinderzellen, welche ein enges Lumen einschliessen, gebildet werden und von eigener Bindegewebsscheide umhüllt sind. Das eine Kanälchen geht an seinem caudalen Ende in eine kleine vielleicht als Rudiment eines Malpighi'schen Körperchens zu deutende Bildung über.

### XIV. Menschlicher Embryo grösste Länge 14 mm.

(Angeführt Normentafel Tabelle 51.)

Die Urniere beginnt beiderseits in der Höhe zwischen Austritt des zweiten und dritten Thoracalnerven; sie liegt wie gewöhnlich ventral vor der Vena cardinalis, der Wolff'sche Gang lateral, die Urnierenkörperchen medial. Es zeigen sich sehr deutliche Zeichen der begonnenen Rückbildung am cranialen Ende. Die Lichtung des Wolff'schen Ganges ist stellenweise kaum zu erkennen, die gewundenen Kanälchen sind oft ohne Lumen, zum Teil in einzelne Stücke zersprengt und ohne Zusammenhang mit einem Urnierenkörperchen oder dem Wolff'schen Gang, die Malpighi'schen Körperchen lassen zum Teil eine beginnende Verödung erkennen.

Der Müller'sche Gang ist beiderseits auf eine kurze Strecke angelegt. Er beginnt mit weitem Trichter lateral neben dem Wolff'schen Gange am apicalen Urnierenpole, läuft

dann als dickwandiges Kanälchen mit engem Lumen lateral neben dem Wolff'schen Gang direkt unter dem Coelomepithel, mit dem er an einer Stelle zusammenhängt, nach caudal um sehr bald mit blindem Zellzapfen zu enden.

In der Höhe zwischen dem Austritt des siebenten und achten Cervicalnerven liegt rechts im Bogen der Arteria subclavia, medial am Grenzstrang des Sympathicus, dorsal an den grossen Venen ein Vornierenrudiment, bestehend aus drei kleinen Kanälchen, die aus Cylinderzellen, welche ein enges Lumen umschliessen, gebildet werden und von gut entwickelter Bindegewebsscheide umgeben werden.

---

Versuchen wir nunmehr nach der detaillierten Beschreibung der einzelnen Befunde das Wesentliche davon zusammenzufassen und zu deuten. Es wurden bei sämtlichen untersuchten 14 Embryonen am cranialen Ende der Urniere und davor einzelne isolierte Kanälchen oder Malpighi'sche Körperchen gefunden, die keinen Zusammenhang mit der übrigen geschlossenen Urniere hatten. Es kann sich bei diesen Bildungen nur um Vorniere oder Urniere handeln, da andere Organe hier in der Leibeshöhlenwand und in nächster Nachbarschaft zur Vena cardinalis nicht in Frage kommen, ausserdem noch durch den Befund der Malpighi'schen Körperchen erwiesen wird, dass es sich um ein Nierenorgan handeln muss. Es sind diese isolierten Kanälchen vom topographischen Gesichtspunkte aus in zwei Gruppen zu zerlegen, in solche, die in der direkten Fortsetzung der Urniere im Urnierenwulst ventral vor der Vena cardinalis liegen, und zweitens in Kanälchen, die dorsal von den grossen Gefässen im Mesenchym sich finden. Dieses topographische Moment ist für die Beurteilung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Urniere liegt bei jüngeren Embryonen stets zwischen der Vena cardinalis und dem Coelomepithel; erst wenn bei fortgeschrittener Entwicklung sowohl das Gefässsystem weitgehend umgebildet, als auch die Urniere selbst verlagert

wird, können andere topographische Beziehungen sich ergeben. So sind also sämtliche Kanälchen, die bei den hier in Frage stehenden Embryonen dorsal von der Vena cardinalis liegen, nicht zur Urniere zu rechnen und damit als Vornierenteile aufzufassen.

Es kommen nun noch eine Reihe von Punkten in Frage, die die Deutung isolierter Kanälchen hier am Kopfende der Urniere beeinflussen können. Zunächst ist hervorzuheben, dass die Segmenthöhe als solche zur Entscheidung, ob Vornierenreste oder Urnierenteile vorliegen, nicht benutzt werden kann. Die craniale Grenze der Urniere findet sich zwar zumeist in der Höhe der siebenten Cervicalarterie, das Organ kann aber auch bei Embryonen ungefähr des gleichen Entwickelungsgrades bis vor die sechste, oder nur bis an die achte Cervicalarterie reichen. Sehr häufig bestehen auch geringe Höhenunterschiede in den cranialen Urnierengrenzen zwischen den beiden Seiten eines Embryo. Es ist also zunächst ein nicht unerhebliches Schwanken der cranialen Urnierengrenze bei Embryonen ungefähr des gleichen Entwicklungsgrades festzustellen.

Dann verschiebt sich aber bei fortschreitender Entwickelung sehr bald die Urniere im ganzen nach caudal, sodass von vornherein es nicht unmöglich ist, dass auch isolierte Rudimente verschoben werden, wie sich aus den Befunden ebenfalls ergibt. Es ist dieses Zurückweichen nach caudal zum Teil sicher als reell vorhanden anzusehen, wie ja überhaupt die meisten Organe der vorderen Körperhälfte anfangs weiter cranial gelegen sind, als späterhin, beruht aber anderseits zum sehr wesentlichen Teile besonders grade bei jüngeren Embryonen auf Rückbildungserscheinungen. Reduktionen am vorderen Ende der Urniere, die im Zerfall der gewundenen Kanälchen und des Wolff'schen Ganges in einzelne oft lumenlose Bruchstücke sowie in der Isolierung und Verödung von Urnierenkörperchen zum Ausdruck kommen, können schon sehr frühzeitig auftreten. Sie wurden schon

bei Embryonen von 5—6 mm mit Sicherheit konstatiert (Fall II und III) und nehmen dann immer mehr zu. Kombiniert sich nun segmentale Verschiebung der Urniere und Rückbildung am cranialen Ende des Organes, so ist es leicht zu verstehen, dass einzelne Kanalbruchstücke oder isolierte Malpighi'sche Körperchen, die den Zusammenhang mit dem Hauptorgan verloren haben, cranial vor diesem liegen bleiben können. Diese Teile müssen aber zunächst natürlich ihre Lage zwischen Vena cardinalis und Coelomepithel beibehalten. Auf diese Weise sind wohl am ungezwungensten, abgesehen von älteren Embryonen, die Befunde, wie sie die Embryonen 5—6 mm Fall III, 6,75 mm Fall IV, 8 mm Fall VI und 8,75 mm Fall IX bieten, zu erklären.

Ein dritter wichtiger Punkt, der leicht zu Verwechslungen Veranlassung geben kann, ist in den Beziehungen der Urnierenteile zum Epithel der Leibeshöhle gegeben. Diese können sich darstellen als Zellverbindungen des Wolff'schen Ganges mit dem Coelomepithel an verschiedenen Stellen, sowie als solide Zellstreifen oder kurze Nephrostomalkanälchen, welche die Bowmann'schen Kapseln der Nierenkörperchen mit dem Coelomepithel direkt verbinden. Robert Meyer (1904) hat nach Untersuchungen an Meerschweinchenembryonen und Befunden am Menschen erneut darauf hingewiesen, dass solche Verbindungen secundär und wohl regelmässig entstehen, aber nur kurze Zeit bestehen bleiben. Sind solche Nephrostomalkanälchen kurz und weit, so kann es vorkommen, dass der Glomerulus aus der Bowmann'schen Kapsel heraus teilweise oder ganz in die Leibeshöhle hereinhängt, so dass ein secundär freies oder halbfreies Glomus entsteht. Solche Befunde konnte ich bei dem Embryo 8 mm Fall VII — zweites Urnierenkörperchen der linken Seite — und dem Embryo 8,75 mm Fall IX — linke Urniere — feststellen. Keibel (1905) konnte ganz ähnliche Bilder bei Tarsius spectrum gewinnen und betont besonders die secundäre Natur dieser freien Gefässknäuel, die nicht gestatte, sie als Vornieren-

glomera zu betrachten. Nephrostomalkanälchen und solide Zellverbindungen können sich auch an losgetrennten Urnierenkörperchen finden, wie bei den Embryonen 5—6 mm Fall III, 6,75 mm Fall IV, 8,75 mm Fall IX, ohne dass man berechtigt wären, deswegen solche Rudimente als nicht zur Urniere gehörig zu betrachten.

Bietet so schon das craniale Ende der Urniere ein sehr wechselvolles Bild, so ist das gleiche mit den Kanälchen und Kanalbruchstücken, die ihrer Lage dorsal von der Vena cardinalis wegen als Vornierenrudimente gedeutet wurden, der Fall. Diese Rudimente wurden gefunden in der Höhe der vierten Cervicalarterie einerseits bei dem Embryo 4 mm Fall I, in der Höhe des dritten bis vierten Thoracalnerven anderseits bei dem Embryo 13 mm, Fall XIII. Stets lagen diese Rudimente aber cranial vor der Urniere, niemals in gleicher Höhe mit Teilen von ihr. Die Ausbildung und das weitere Verhalten dieser Kanälchen kann sich ausserordentlich verschieden gestalten. Die Rudimente können als kleine Zellbläschen (Embryo 4 mm Fall I), kürzere oder längere, grade oder gewundene Kanälchen mit oder ohne Lumen, als Zellstreifen ohne eignen Mesenchymmantel (Embryo IX 8,75 mm), als echte Malpighi'sche Körperchen (Embryo IX 8,75 mm, X 8—9 mm) erscheinen mit allen Uebergangstadien zwischen diesen einzelnen Formen der Ausbildungen. Die Rudimente bleiben entweder dorsal von der Vena cardinalis liegen oder schieben sich an ihrer medialen Seite vorbei (Embryo VI 8 mm, IX 8,75 mm) oder durch sie hindurch (Embryo I 4 mm, X 8—9 mm) ventral zwischen Vene und Coelomepithel. Hier können sie dicht unter dem Coelomepithel enden (Embryo V 8,75 mm) mit ihm verschmelzen (Embryo I 4 mm, IX 8,75 mm) oder das Coelomepithel stülpt sich kanalförmig oder trichterartig gegen das Vornierenrudiment ein (Embryo VI 8 mm, X 8—9 mm). Werden solche ventral von der Vena cardinalis gelagerte Fortsätze der Vorniere von dem dorsal gelegenen Abschnitt getrennt, so wird es kaum möglich sein mit

Sicherheit festzustellen, dass hierin Vornierenreste zu sehen sind. Nur bei dem Embryo I 4 mm glaube ich doch ausnahmsweise aus der Gesamtconfiguration schliessen zu dürfen, dass das Zellbläschen, welches in der Höhe der fünften Cervicalarterie medial neben der Vena cardinalis liegt und mit dem Coelomepithel durch einen Zellstreifen zusammenhängt, als Vornierenrest zu deuten ist.

Nur zweimal konnten Bildungen festgestellt werden, die sich vielleicht als Rudimente äusserer Glomera deuten lassen. Ich meine die eigentümliche Art wie bei dem Embryo VI 8 mm in der Fortsetzung des Vornierenrudimentes ein Zellzapfen, in den ein venöses Gefässstämmchen zu verfolgen war, in den Coelomepitheltrichter hereinhängt, sowie die unregelmässigen Vorbuchtungen der Coelomwand bei dem Embryo VII 8 mm, die ebenfalls Gefässe enthielten. Doch will ich gerade diesem letzteren Befunde kein allzugrosses Gewicht beilegen. Es kommen nämlich unregelmässige, manchmal auch mehr circumscripte Vorbuckelungen der Coelomwand nicht selten an ganz anderen Stellen als dem Urnierenwulste, am Mesenterium dorsale, an der lateralen Coelomwand im Gebiet der Cervicalsegmente vor, sodass es wahrscheinlich wird, dass solche Bildungen eine ganz andere Bedeutung haben als rudimentäre Vornierenglomera. Zur Vorsicht mahnt weiterhin die Tatsache, dass echte, kleine Malpighi'sche Körperchen dorsal an der Vena cardinalis neben einfachen Kanalresten sich finden können (Embryo IX 8,75 mm, X 8—9 mm). Es ist dies ein sehr auffallender Befund. Während gefässführende Vorbuckelungen der Coelomwand, wie auch oben erwähnt, verschiedentlich als Reste äusserer Glomera gedeutet wurden (Janosik 1887, Tandler 1905, Keibel 1905, 1908, Ingalls 1907, Elze 1907, 1908), werden solche echte Malpighi'sche Körperchen dorsal von der Vena cardinalis nirgends erwähnt. Sollte diese Erscheinung sich als häufiger vorkommend erweisen, so ist es von vornherein nicht wahrscheinlich, dass ausserdem noch äussere Glomera auftreten.

Besonders interessant sind nun Uebergangsbilder zwischen echter ventral von der Vena cardinalis gelegener Urniere und dorsalen Vornierenrudimenten. Bei dem Embryo IX 8,75 mm liegt am cranialen Ende der linken Urniere ein Malpighi'sches Körperchen ohne Zusammenhang mit dem übrigen Organ, doch mit den Resten eines Kanälchen, welches zum Coelomepithel zieht, ausserhalb der Reihe der Urnierenkörperchen an der medialen Wand der Vena cardinalis und damit nicht mehr ganz an der gewöhnlichen Stelle ventromedial vor der Vene. Bei dem Embryo X 8—9 mm schiebt sich nun beiderseits das craniale gut entwickelte Urnierensegment, welches in gewissem Abstande vor dem nächst folgenden gelegen ist, aber in nichts sonst als etwas besonderes sich darstellt, mit seinem Malpighi'schen Körperchen von der ventralen Seite der Vene an ihre mediale Fläche, um links schliesslich erst dorsomedial von der Vene zu enden. Diese Befunde scheinen mir nicht ohne Bedeutung zu sein für die Frage, ob Vorniere und Urniere selbständig nebeneinander stehen und auch im gleichen Segmente auftreten können. Während Janosik (1904) bei Untersuchung früher Stadien von Zieselembryonen glaubt einen Zusammenhang und continuierlichen Uebergang von Vorniere in Urniere fesstellen zu können, was direkt an Befunde bei Sauropsiden (Gasser 1878, 1879, 1882, Siemerling 1882, Kerens 1906) sich anschliessen lassen würde, hält im Gegensatz Robert Meyer (1909) auf Grund der Beobachtungen von Keibel (1905) an Tarsius spectrum die Frage des Holonephros im negativen Sinne für entschieden. Keibel selbst drückt sich nun zunächst über seine Befunde sehr zurückhaltend und vorsichtig aus, und ich bin der Ansicht, dass die Befunde bei Tarsius sich nicht in dem Sinne verwerten lassen, dass Vorniere und Urniere im gleichen Segmente auftreten. Ich kann wenigstens aus den Beschreibungen und Abbildungen von Keibel mich nicht überzeugen, dass hier sicher Vornierenrudimente vorliegen, denke vielmehr an die Möglichkeit, dass die Bilder als Re-

ductionen von Urnierenteilen und Nephrostomalkanälchen zu erklären sind. Durch die Tatsache, dass ich Vornierenreste stets cranial vor der Urniere finde, sowie aus Uebergangsbildern, wie sie die oben beschriebenen Befunde bei den Embryonen IX und X bieten, werden wohl Uebergangspartien, welche von Vorniere zur Urniere überleiten, wahrscheinlich gemacht. Grade in diesem Punkte möchte ich aber mich nur sehr zurückhaltend äussern, da ausser den Befunden beim Menschen bei den übrigen Säugern in dieser Hinsicht nur weniges aus der Zeit der ersten Anlage bekannt ist.

Aus dem Gesagten lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Es bestehen Vornierenrudimente beim menschlichen Embryo in individuell sehr verschiedener Ausbildung, die durch das Vorhandensein von Malpighi'schen Körperchen und Verbindungen zum Coelomepithel als Nierenbildungen sich erweisen, durch ihre Lage dorsal von den grossen Gefässen von der Urniere sicher zu unterscheiden sind.

Es besteht weiterhin in einzelnen Fällen ein Gebiet von Nierensegmenten, die durch ihre Lage medial und dorsomedial von der Vena cardinalis bei Zusammenhang mit der eigentlichen Urniere weder kurzweg der Urniere noch der Vorniere zuzurechnen sind, wahrscheinlich als Uebergangskanälchen zu bezeichnen sind.

Es setzen schon sehr frühzeitig am cranialen Ende der Urniere Rückbildungserscheinungen ein, die zu Isolierung von Stücken des Wolff'schen Ganges und der gewundenen Kanälchen, sowie der Urnierenkörperchen führen können.

Die Bestimmung der Segmenthöhe von isolierten Kanälchen lässt sich zur Differenzierung von Vorniere und Urniere nicht verwerten, da von vornherein die craniale Grenze der Urniere individuell verschieden ist, bei fortschreitender Entwicklung ausgedehnte Verschiebungen statthaben können, sodass isolierte Urnierenreste cranial zurückbleiben, Vornierenrudimente auch eine Strecke weit caudal verlagert werden können.

Als einziges sicheres Merkmal bleibt bestehen, dass dorsal von der Vena cardinalis Vornierenreste zu erwarten sind. Solche isolierte Kanälchen, die ventral vor der Vena cardinalis liegen, werden zum Teil leicht als rückgebildete Urnierenteile zu erkennen sein, zum Teil wird man es unentschieden lassen müssen, ob es sich um in ventrale Lage geratene Vornierenrudimente oder reduzierte Urnierenteile handelt.

Bei den untersuchten 14 Embryonen fanden sich Vornierenrudimente in neun Fällen, und zwar viermal doppelseitig (Embryo I, VII, IX, X), zweimal nur linksseitig (Embryo VI, XII), dreimal nur rechtsseitig (Embryo VIII, XIII, XIV).

---

## Literaturverzeichnis.


1. J. L. Bremer. Description of a 4 mm human embryo. American journal of anatomy, volume 5, 1906.
2. Curt Elze. Beschreibung eines menschlichen Embryo von zirka 7 mm grösster Länge. Anatomische Hefte, Band 35, 1907.
3. W. Felix und A. Bühler. Die Entwicklung der Harn- und Geschlechtsorgane. Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungslehre der Wirbeltiere, herausgegeben von O. Hertwig. Band III, Jena 1906.
4. Susanna Phelps Gage. The mesonephros of a three weeks human embryo. Proceedings of the association of american anatomists. American journal of anatomy, volume 3, 1904.
5. E. Gasser. Ueber das obere Ende des Wolff'schen Ganges und die primäre Urnierenanlage. Diese Berichte 1878.
6. — Beiträge zur Entwicklung des Urogenitalsystems der Hühnerembryonen. Diese Berichte 1879.
7. Ueber die Entwicklung von Alytes obstetricans. Diese Berichte 1882.
8. J. Janosik. Zwei junge menschliche Embryonen. Archiv für microscopische Anatomie, Band 30, 1887.
9. J. Janosik. Ueber die Entwicklung der Vorniere und des Vornierenganges bei Säugern. Bulletin international de l'académie des sciences de Bohême, IX, 1904.
10. J. Janosik. Ueber die Entwicklung der Vorniere und des Vornierenganges bei Säugern. Archiv für microscopische Anatomie, Band 64, 1904.

11. N. W. Jugalls. Beschreibung eines menschlichen Embryo von 4,9 mm. Archiv für microscopische Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Band 70, 1907.
12. Franz Keibel. Zur Embryologie des Menschen, der Affen und der Halbaffen. Verhandlungen der anatomischen Gesellschaft XIX, 1905.
13. — und Curt Elze. Normentafel zur Entwicklungsgeschichte des Menschen, Jena 1908.
14. Berthe Kerens. Recherches sur les premières phases du développement de l'appareil excréteur des Amniotes. Archives de biologie, Tome 22, 1906.
15. J. B. Mac Callum. Notes on the Wolffian body of higher Mammals. American journal of anatomy, volume 1, 1902.
16. Robert Meyer. Ueber die Beziehung der Urnierenkanälchen zum Coelomepithel nach Untersuchungen an Meerschweinchen-Embryonen. Anatomischer Anzeiger, Band 25, 1904.
17. — Ueber sogenannte Vornierenreste bei menschlichen Embryonen. Gesellschaft für Geburtshilfe und Gynäkologie zu Berlin. Zentralblatt für Gynäkologie, Band 33, 1909.
18. — Ueber sogenannte Vornierenreste und das nephrogene Zwischenblastem bei menschlichen Embryonen und ihre eventuelle pathologische Persistenz. Charité-Annalen, Band 33, 1909.
19. C. Phisalix. Etude d'un embryon humain de 10 millimètres. Archives de zoologie experimentale et générale, 2. série, Tome 6, 1888.
20. George Renson. Recherches sur le rein céphalique et le corps de Wolff chez les oiseaux et les mammifères. Archiv für microscopische Anatomie, Band 22, 1883.
21. Ernst Siemerling. Beiträge zur Embryologie der Excretionsorgane des Vogels. Inauguraldissertation Marburg 1882.
22. Julius Tandler. Ueber Vornierenrudimente beim menschlichen Embryo. Verhandlung der morphologisch-physiologischen Gesellschaft zu Wien. Zentralblatt für Physiologie, Band 18, 1905.
23. — Ueber Vornierenrudimente beim menschlichen Embryo. Anatom. Hefte, Band 28, 1905.
24. — Ueber einen menschlichen Embryo vom 38. Tage. Anatomischer Anzeiger, Band 31, 1907.
25. Peter Thompson. Description of a human embryo of twenty-three paired somites. Journal of anatomy and physiology, volume 41, 1907.

Zum Schluss sprach Herr F. A. Schulze über:

## Die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von Spannung und Torsion.

Dass das Hooke'sche Gesetz, wonach die relative Dehnung eines Drahtes genau proportional der Spannung sein soll, auch innerhalb der Elastizitätsgrenze nicht streng giltig ist, ist mehrfach konstatiert worden. Die genausten Versuche hierüber sind wohl diejenigen, die J. O. Thompson[1]) auf Veranlassung von Herrn F. Kohlrausch ausgeführt hat. Danach nimmt der Elastizitätsmodul, der nach dem Hooke'schen Gesetz unabhängig von der Spannung sein soll, mit wachsender Spannung allmählich ab. Die Abnahme kann einige Prozente betragen.

Definiert man übrigens das Hooke'sche Gesetz dahin, dass der Quotient $\frac{dP}{d\lambda}$ ($P$ Spannung, $\lambda$ relative Verlängerung), d. h. der Elastizitätsmodul für sehr kleine Dehnungen berechnet, stets konstant bleiben soll, so muss die tatsächliche Verlängerung $X$ nicht proportional, soudern beschleunigt mit dem angehängten Gewicht $p$ wachsen, wie es J. O. Thompson für alle untersuchten Substanzen gefunden hat, weil ja mit wachsendem Gewicht die Länge selbst wächst, also die bei gleicher Belastungsänderung $dp$ eintretende gleichbleibende relative Verlängerung $d\lambda$ ein allmähliches Anwachsen der tatsächlichen Verlängerung $dX$ mit wachsender Belastung bedingt. Hierauf hat, wie ich durch eine freundliche Mitteilung von Herrn E. Neumann erfuhr, bereits vor einigen Jahren Herr Clemens Schaefer in einem unveröffentlichten Vortrag aufmerksam gemacht.

---

1) J. O. Thompson, Wied. Ann. 44, 555. 1891.

Auch die Querschnittsverminderung wirkt in gleicher Weise, da bei vermindertem Querschnitt dieselbe tatsächliche Belastungsänderung $dp$ einer vermehrten auf die Fläche 1 berechneten Spannung $P$ entspricht.

Ist $q_0$ der Anfangswert von $q$, so ist der zu einem bestimmten Wert von $l$ gehörende Wert von $q$, wenn $\mu$ die Elastizitätszahl ist, $q = q_0\left(1 + 2\mu - 2\mu\frac{l}{l_0}\right)$ unter Vernachlässigung sehr kleiner Glieder. Zur Abkürzung sei $1 + 2\mu = \alpha$, $\frac{2\mu}{l_0} = \beta$ gesetzt. Es wird $\frac{dl}{dp}\frac{q}{l} = \frac{1}{E_0} = \frac{dl}{dp}q_0\frac{\alpha - \beta l}{l} = const.$ Integration gibt $\alpha\, log\, nat\, l - \beta l = \frac{p}{E_0 q_0} + c'$; die Bedingung $l = l_0$ für $p = 0$ gibt: $\alpha\, log\, nat\frac{l}{l_0} - \beta(l - l_0) = \frac{1}{q_0 E_0}p.$

Es sei die tatsächliche Verlängerung $l - l_0 = X$. Es wird: $\alpha\, log\, nat\left(1 + \frac{X}{l_0}\right) - \beta X = \frac{1}{q_0 E_0}\cdot p$ und bei Benutzung der Reihe für $log\, nat$ annähernd: $\alpha\frac{X}{l_0} - \alpha\frac{X^2}{2l_0^2} - \beta X = \frac{1}{q_0 E_0}\cdot p$; hieraus $X = \frac{l_0}{\alpha} - \frac{l_0}{\alpha}\sqrt{1 - \frac{2\alpha}{qE_0}p}$; Benutzung der binomischen Reihe gibt 1) $X = \frac{l_0}{q_0 E_0}\cdot p + \frac{l_0\alpha}{2q_0^2 E_0^2}\cdot p^2.$

Das erste Glied allein würde das Hooke'sche Gesetz ergeben; das zweite besagt, dass die Verlängerungen schneller wachsen wie die Belastungen.

Es entspricht dies qualitativ dem von J. O. Thompson erhaltenen Resultat. Jedoch ist dies zweite Glied zahlenmässig experimentell erheblich grösser gefunden, als es nach 1) ist.

Es sei z. B., wie es in runden Zahlen den Versuchen von Thompson entspricht, bei Stahldraht $l_0 = 20\,000$ mm,

$q_0 = \frac{1}{20}$ qmm, $E = 20000 \frac{\text{kg Gew.}}{\text{mm}^2}$, $p = 1$ kg. $\mu = 0{,}3$; $\alpha = 1{,}6$, $X = 20$ mm $+ 0{,}0008$ mm.

Bei den Versuchen von J. O. Thompson ergab sich dagegen bei ungefähr denselben Bedingungen allgemein für den untersuchten Stahldraht in denselben Einheiten $X = 34{,}672\ P + 0{,}6498\ P^2$, also für $P = 1$: $X = 34{,}672$ mm $+ 0{,}6498$ mm.

Während also unter der Annahme absolut konstanten Elastizitätsmoduls die beschleunigte Zunahme der Verlängerung bei vorliegendem Versuch nur etwa $\frac{1}{1000}$ mm beträgt, also kaum zu messen gewesen wäre, war sie tatsächlich über $\frac{1}{2}$ mm gross.

Alle bisherigen Versuche beziehen sich auf den isothermen, aus statischen Versuchen ermittelten Elastizitätsmodul. Eindeutige Resultate geben sie nur, solange die Nachwirkung nicht merklich wird.

Die im folgenden beschriebenen Versuche beschäftigen sich mit der Abhängigkeit des adiabatischen, aus der Schwingungszahl des Longitudinaltones bestimmten Elastizitätsmoduls, der also von den Einflüssen der Nachwirkung frei ist, von der Spannung, bez. Dehnung und Torsion. Es kamen Drähte aus Stahl, Neusilber, reinem Silber, 800-Silber und Messing zur Untersuchung.

In Längen von ca. 1 m wurden sie im Weber'schen Monochord eingespannt und der Longitudinalton bestimmt bei beiderseits festgeklemmten Enden. Es wurden zwei Messungsreihen gemacht. Die eine derart, dass der Draht mittels einer Schraube successive um gemessene kleine Stücke verlängert wurde (je $\frac{1}{2}$ mm). In einer zweiten Versuchsreihe wurden dem Drahte steigende gemessene Spannungen erteilt. In beiden Versuchsreihen wurde die Schwingungszahl des Longitudinaltones in der Weise bestimmt, dass das

Intervall, welches sein gegen eine Normalstimmgabel (2048 v. d.) von Rudolf Koenig entstehender erster Differenzton mit einer zweiten Normalgabel bildete, nach dem Gehör geschätzt wurde. Es war damit die Tonhöhe des ersten Differenztones und weiter auch die Schwingungszahl des Longitudinaltones des Drahtes selbst bestimmbar. Aus dieser lässt sich in bekannter Weise der adiabatische Elastizitätsmodul berechnen, wenn noch Dichte und Länge des Drahtes bekannt ist.

Das Resultat war bei allen untersuchten Drahtsorten das folgende:

Der adiabatische Elastizitätsmodul nimmt bis zum Zerreissen des Drahtes linear mit wachsender Verlängerung, bez. Spannung ab. $E = E_0 - a\lambda$, bez. $E = E_0 - cp$. Es sei besonders hervorgehoben, dass an der Elastizitätsgrenze keinerlei Unstetigkeit oder schnelle Aenderung in dieser linearen Abnahme des Elastizitätsmoduls zu bemerken war.

Der Grössenordnung nach war die Abnahme dieselbe, wie sie sich bei den nur innerhalb der Grenze der Nachwirkungsfreiheit gültigen Versuchen von J. O. Thompson ergeben hatte.

Die gesamte Aenderung, die der Elastizitätsmodul, vom ungedehnten Zustand bis dicht vor dem Zerreissen erfährt, ist nur gering. Er beträgt z. B. bei Stahl etwa 8 %, und wenn man ausserdem noch den veränderten Querschnitt berücksichtigt, nur etwa 6 %.

Anmerkung: Die unmittelbare Veranlassung zn diesen Versuchen waren für mich die mehrfach geäusserten Bedenken, ob nicht bei dem von mir für zur Bestimmung der oberen Hörgrenze und Perzeptionsfähigkeit des Ohres für hohe Töne konstruierten Monochord (F. A. Schulze, Zeitschrift für Ohrenheilkunde, 66, 167, 1908) bei welchem die Longitudinalschwingungen von Drähten benutzt werden, die Spannung von wesentlichem Einfluss auf die Tonhöhe sei. So klar es von vornherein ist, dass Spannungsänderungen nur minimale Aenderungen der Tonhöhe bedingen, schien es mir doch von Wert, die genaue Aenderung festzustellen. Wie man sieht, und wie ich auch l. c. bereits ausgeführt habe, sind die minimalen Aenderungen für den praktischen Gebrauch des Instrumentes bedeutungslos.

Von Interesse ist, dass eine Aenderung des Elastizitätsmoduls während der Nachwirkung, die bei einigen Versuchen sowohl an Zeitdauer, wie an Grösse sehr beträchtlich war, nicht zu konstatieren war. (Es war dies natürlich nur bei der zweiten Versuchsreihe zu konstatieren.)

Das ausführliche Zahlenmaterial soll an anderer Stelle mitgeteilt werden. Das Wesentliche ist in der folgenden Tabelle enthalten, in der $s$ die Dichte, $q$ den Querschnitt, $Z$ die Zugfestigkeit, $E_0$ den Elastizitätsmodul für den ungespannten Zustand, $a$ und $c$ die Konstanten in den Beziehungen $E\lambda = E_0 - a\lambda$, $E_p = E_0 - cp$ bedeuten. (Die Einheiten Kilogramm und Millimeter.)

| Substanz | $s$ | $q$ | $Z$ | $Eo$ | $a$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stahl . . . . | 7,90 | 0,0467 | 252 | 20287 | 76000 | 4,10 |
| Neusilber. . . | 8,50 | 0,0480 | 187 | 11512 | 100070 | — |
| Reines Silber . | 10,48 | 0,0499 | 32,1 | 7777 | 42890 | — |
| Messing . . . | 8,11 | 0,0725 | 89,5 | 10362 | 51320 | 4,21 |
| 800 Silber . . | 8,52 | 0,103 | 67 | 6479 | 21160 | — |

In einer dritten Versuchsreihe wurde die Abhängigkeit des adiabatischen Elastizitätsmoduls von der Torsion bei Stahl und Messing untersuchte.

Es ergab sich folgendes:

Bis zu sehr erheblichen Torsionen bleibt, bei verschiedensten daneben bestehenden Spannungen, der Elastizitätsmodul konstant.

Es stimmt dieses Resultat überein mit einer von W. Voigt[1]) aus einer durch Einführung von Gliedern dritten Grades der Deformationsgrössen in das elastische Potential erweiterten Elastizitätstheorie gezogenen Schlussfolgerung.

Erst nach sehr grossen Torsionen erfuhr der Elastizitätsmodul ziemlich plötzlich eine Aenderung, indem er bei Stahl

1) W. Voigt, Wied. Ann. 52, 536. 1894.

um 1 % zunahm, bei Messing um etwa 1 % abnahm. Diese veränderten Werte behielt er bis zum Zerreissen. Diese kritische Drehung war unabhängig von der Belastung und betrug eine ganze Umdrehung auf ca. 4,6 mm bei Stahl, auf ca. 65 mm bei Messing.

Bei dieser Versuchsreihe ergab sich ferner folgendes:

Die Zugfestigkeit nimmt mit wachsender Torsion ab; eine Erscheinung, die auch bereits von J. Kramm (Inaug.-Diss. Marburg 1873) gefunden, seitdem aber nicht weiter verfolgt ist.

Kramm zog aus seinen nur wenige Messungen enthaltenden Versuchen folgendes Resultat:

„... Die Zahl der Torsionen, welche Zerreissen bedingen, ist annähernd direkt proportional der Differenz aus der absoluten Festigkeit und der Belastung.“ Bei den hier zur Untersuchung kommenden Drähten aus Stahl und Messing ergaben jedoch die Versuche bei weitgehender Abstufung der Belastungsintervalle folgendes eigentümliche Resultat, das besonders bei Stahl sehr ausgeprägt war.

Mit steigender Belastung nimmt die Anzahl der Umdrehungen, die erforderlich ist, damit bei der betreffenden Belastung Zerreissen eintritt bis zu einer gewissen kritischen Belastung, fast gleichmässig linear ab. Bei dieser kritischen Belastung nimmt dann plötzlich die Zahl der Zerreissung herbeiführender Umdrehungen wieder etwas, wenn auch nur wenig, zu, um dann bei weiterer Belastung, langsam etwa linear bis auf Null abzunehmen bei der der gewöhnlichen absoluten Zugfestigkeit entsprechenden Belastung.

Diese kritische Belastung war bei Stahl ganz ausserordentlich ausgeprägt. Die Abnahme der Zerreissungsumdrehungszahlen ist im zweiten Intervall viel geringer als im ersten. Im ersten (bis 4800 gr) entspricht einer Belastungszunahme um 1 kg eine Abnahme der Zerreissungsumdrehungszahlen um rund 150, im zweiten, von 4800 gr bis zur Zugfestigkeitsgrenze (11 200 gr) nur um rund 10.

Von besonderem Interesse ist es, dass diese kritische Belastung zugleich auch die Elastizitätsgrenze ist, wie durch Versuche festgestellt wurde.

Bei Messing waren die Erscheinungen qualitativ dieselben, traten aber nicht so auffällig hervor wie bei Stahl.

Es sei noch erwähnt, dass die eigentümlichen „Knickungsfiguren", die die gespannten Drähte beim Zerreissen annehmen, und die bereits von W. Weber beobachtet sind, hier ebenfalls in besonders auffallender Weise auftraten.

Bei Gelegenheit dieser Messungen wurde eine eigentümliche bei der Belastungsnachwirkung auftretende Erscheinung beobachtet, die, soviel ich sehe, bisher noch nicht beschrieben zu sein scheint, trotzdem sie auf den ersten Blick sehr frappant und auffallend ist.

Es wurde der vertikal hängende oben festgeklemmte, unten freie, nur mit der Wagschale belastete Draht zur Zeit $t = o$ mit einem erheblichen Gewicht belastet. Er verlängert sich dann zunächst sehr schnell um ein bestimmtes Stück, dann jedoch setzt in bekannter Weise die Nachwirkung ein, und der Draht verlängert sich stetig weiter, aber nun erheblich langsamer mit ständig abnehmender Geschwindigkeit, bis, nach theoretisch unendlich langer Zeit, praktisch nach Stunden oder Tagen, die definitive der betreffenden Belastung entsprechende Endverlängerung erreicht ist. Dies gilt für den Fall, dass das untere Ende des Drahtes stets frei bleibt, so dass der Draht stets unter dem Einfluss der Belastung frei der Verlängerung folgen kann.

Eine auffallende Erscheinung tritt nun aber ein, wenn man in einem zweiten Versuch an einem Draht derselben Sorte bei gleicher Belastung, also unter im übrigen ganz gleichen Bedingungen, nach Ablauf der ersten schnell erfolgenden Verlängerung in irgend einem Zeitmoment der Nachwirkungsperiode das untere Ende des Drahtes festklemmt, sodass also der Draht sich nicht weiter verlängern kann. Lässt man nun das untere Ende darauf einige Zeit, mehrere

Minuten, festgeklemmt, und löst dann nach Ablauf dieser Zeit die Klemmvorrichtung, so tritt eine erhebliche sehr schnell fast momentan verlaufende Verlängerung des Drahtes unter dem Einfluss der Belastung ein, die dann wieder ziemlich unvermittelt in die langsam fortschreitende Nachwirkungsverlängerung übergeht. Die Grösse dieser schnellen Verlängerung betrug mehrere Millimeter und mehr, je nach den Umständen, Zeit zwischen erster Belastung und Beginn des Festklemmens, sowie Dauer des Festklemmens. Und zwar betrug sie nahezu ebensoviel, als sich der Draht verlängert haben würde, wenn man ihn jene Zeit nicht unten festgeklemmt, sondern frei der Einwirkung des belastenden Gewichtes hätte folgen lassen. Es arbeiten also, wenn man sich so ausdrücken will, in dem gespannten Draht, auch wenn er an der freien Ausdehnung verhindert ist, die einmal eingeleiteten Belastungsnachwirkungskräfte fast ungestört weiter.

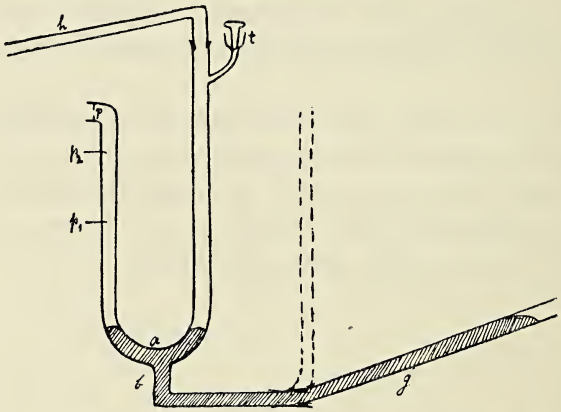
War die Zeit der Festklemmung beträchtlich gross, so konnte die plötzliche Verlängerung beim Lösen so bedeutend sein, dass infolge der Wucht des plötzlich heruntersinkenden Belastungsgewichtes der Draht riss. Genaue quantitative Angaben sollen später mitgeteilt werden.

Ferner machte Herr F. A. Schulze kurze Mitteilungen über folgende Arbeiten aus dem Physikalischen Institut:

1. R. Ullrich:

## Bestimmung von Dampfdichten nach der Bunsen'schen Ausströmungsmethode.

Auf Anregung von Herrn Professor F. Richarz wurde versucht, die von Bunsen zur Bestimmung von *Gasdichten*[1]) angegebene Ausströmungsmethode in eine Form zu bringen, in der sie auch zur Bestimmung von *Dampfdichten* dienen kann, wozu sie in der ihr von Bunsen gegebenen und seither beibehaltenen Gestalt nicht geeignet ist.




Nach einigen vergeblichen Versuchen gelang es, die Aufgabe in der folgenden einfachen Weise zu lösen. Der Apparat (siehe Figur) besteht im wesentlichen aus einem U-förmig gebogenen Glasrohr *a*, an dessen Mitte unten noch ein Glasrohr *b* angesetzt ist, das sich nach kurzem Lauf rechtwinklig umbiegt und durch ein Stück Gummischlauch mit einem langen graden Glasrohr *g* verbunden ist.

1) Vgl. z. B. F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik, 11. Aufl. p. 90.

In dem linken Schenkel des U-rohres ist in der Nähe des oberen Endes ein Platinblech $p$ eingeschmolzen, welches eine feine Oeffnung enthält. Der rechte Schenkel ist mit einem langen Ausführungsrohr $h$ versehen; in ihn mündet ferner seitlich der Einfülltrichter $t$. In den linken Schenkel sind ferner noch in zwei verschiedenen Höhen zwei nach aussen führende Platindrähte eingeschmolzen.

Der ganze Apparat wird nun zunächst mit Quecksilber bis etwa zur gezeichneten Höhe gefüllt und in ein Erhitzungsgefäss gebracht (Wasserdampf oder im elektrischen Ofen), während der frei bewegliche Schenkel $g$ in der stark gezeichneten Lage bleibt. Ist die gewünschte Temperatur erreicht, so wird der bewegliche Schenkel $g$ in die gestrichelt gezeichnete Lage gehoben, das Quecksilber steigt in den Schenkeln des U-Rohres in die Höhe und es entsteht in dem linken Schenkel ein Ueberdruck, da die Luft durch das enge Loch nur langsam entweichen kann. Es wird nun die Zeit gemessen, die verstreicht, während der obere Quecksilbermeniskus von dem unteren Platindraht $p_1$ bis zum oberen $p_2$ steigt. Es geschah dies mit Hülfe einer Stoppuhr oder des Hipp'schen Chronoskopes oder auch mit einem Voltameter in der von Parragh (Ztschr. f. phys. und chem. Unt. 2 p. 17. 1888) angegebenen Weise. (Es kommt hier natürlich nur auf relative Zeiten an.) War die Ausströmungszeit der Luft bestimmt, so wurde durch den Fülltrichter etwa 1 ccm der Flüssigkeit eingefüllt und dann der frei bewegliche Schenkel schnell gesenkt, so dass sich der linke Schenkel mit Dampf erfüllt. Nach einiger Zeit (1—2 Minuten) hebt man den beweglichen Schenkel wieder bis zur früheren Höhe und beobachtet die Ausströmungszeit des Dampfes zwischen denselben Marken analog wie die Ausströmungszeit der Luft, die zum Schluss zur Kontrolle nochmals bestimmt wird.

Die Quadrate der Ausströmungszeiten verhalten sich wie die Dichten von Luft bez. Dampf. Eine solche Dampfdichtenbestimmung kann, von der Zeit des Anheizens abgesehen, in ausserordentlich kurzer Zeit, 5—10 Minuten, gemacht werden,

da Wägungen oder sonstige zeitraubende Operationen nicht nötig sind. Die Genauigkeit beträgt etwa 5 %, was für viele Zwecke ja vollständig genügt.

Es seien einige Bestimmungen mitgeteilt.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. Aether: | 2,48 | | |
| | 2,49 | | |
| | 2,48 | | |
| | 2,41 | | |
| | 2,47 | | |
| | 2,54 | | |
| | 2,65 | | |
| | Mittel: | 2,50 | Theoretischer Wert: 2,55 |
| 2. Benzol: | 2,81 | | |
| | 2,82 | | |
| | 2,79 | | |
| | 2,66 | | |
| | 2,56 | | |
| | 2,57 | | |
| | Mittel: | 2,70 | Theoretischer Wert: 2,69 |
| 3. Chloroform: | 3,77 | | |
| | 3,83 | | |
| | 3,82 | | |
| | 3,96 | | |
| | 3,63 | | |
| | 4,00 | | |
| | 3,78 | | |
| | 3,85 | | |
| | 3,87 | | |
| | 4,00 | | |
| | Mittel: | 3,85 | Theoretischer Wert: 4,07 |
| 4. Methyljodid: | 4,59 | | |
| | 4,86 | | |
| | 5,18 | | |
| | Mittel: | 4,88 | Theoretischer Wert: 4,90 |

Bemerkt sei noch, dass die Berechnung unter der Annahme geführt ist, dass der Vorgang isotherm verläuft. Die Formel, die man unter der Annahme adiabatischen Verlaufes erhält, führte zu ganz unmöglichen Werten.

Eine Grenze in der Temperatur ist der Methode natürlich in der gewählten Form durch die Siedetemperatur des Quecksilbers gesetzt.

Durch die Einfachheit der Handhabung dürfte sie sich überall empfehlen, wo es nicht auf äusserste Genauigkeit ankommt.

2. E. Koch:

## Nachweis der magnetischen Wirkung der dielektrischen Verschiebungsströme in ruhenden Dielektricis.

Die Platten eines Kondensators wurden mit den Polen eines Teslatransformators verbunden. In dieses elektrische Wechselfeld wurden die zu untersuchenden Dielektrika gebracht. Um letzteres wurde ein massiver Holzring gelegt, der mit isoliertem Draht bewickelt war, in dem die durch die magnetische Wirkung der Verschiebungsströme inducierten Induktionsströme entstehen sollten. Ihr Vorhandensein wurde durch das Tönen eines angeschlossenen Telephons konstatiert. Dass dieses tatsächlich durch die Verschiebungsströme bedingt war, wurde dadurch konstatiert, dass die Stärke des Telephongeräusches zunahm, wenn Dielektrika von wachsender Dielektricitätskonstante zwischen die Kondensatorplatten geschoben wurden: Luft, Paraffin, Holz, Methylalkohol, Wasser, Paraffin mit Metallkern. Zahlenmässig wurde dies in der Weise geprüft, dass der inducierte Wechselstrom nach Gleichrichtung durch ein Wehnelt'sches Ventilrohr zu einem sehr empfindlichen Galvanometer geführt wurde.

Die Ausschläge am Galvanometer ordnen sich, wie es sein muss, in ihrer Grösse nach der Grösse der Dielektricitätskonstante des eingeschobenen Dielektrikums.

Genaue quantitative Messungen sollen mit einem Dynamamometer der von Papalexi angegebenen Form ausgeführt werden.

Gegenüber der im Prinzip gleichen Versuchsanordnung von Witehead (Phys. Ztschr. 6, 474. 1905), der bereits früher die magnetische Wirkung der dielektrischen Verschiebungsströme nachgewiesen und quantitativ gemessen sowie auch bereits quantitativ die Abhängigkeit von der Dielektricitätskonstante, jedoch nur für Luft und Paraffin, bestimmt hat, dürfte die hier benutzte den Vorteil haben, kompendiöser und mit einfacheren Mitteln herstellbar zu sein,

3. C. Henrich:

## Nachweis der ponderomotorisch-elektrostatischen Wirkung der Induktion.

Nach der zweiten Hauptgleichung der Maxwell'schen Theorie der Elektrizität $rot\ \mathfrak{E} = -\frac{1}{c}\frac{d\mathfrak{B}}{dt} = -\frac{4\pi}{c}b$ ist ein magnetischer Strom von der Dichte $b$ der Sitz eines Wirbels der elektrischen Feldstärke $\mathfrak{E}$. Der experimentelle Nachweis dieses elektrischen Feldes durch seine „elektrostatisch ponderomotorische" Wirkung auf geladene Körper war vergeblich versucht worden von Lodge, Cremieu, Wolf[1]) und Righi. Er ist jetzt geführt worden durch Beobachtung der Ablenkung eines ungeladenen dielektrischen Stäbchens, das sich in die Kraftlinienrichtung einstellen will. Der magnetische Strom oscillierte in zwei wechselstromdurchflossenen, in besonderer Weise gewickelten Toroiden, die im Abstande des Radius parallel nebeneinander aufgestellt waren. Durch besondere Kontrollversuche wurde festgestellt, dass der Ausschlag seine Ursache nur in dem nachzuweisenden Feld haben kann. Der Grössenordnung nach stimmt der Ausschlag mit dem von der Theorie geforderten überein.

1) F. E. Wolf, Inaugural-Dissertation Greifswald 1899.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

BUREAU OF
AMER ETHNOL
JUL 17 1911
LIBRARY

Jahrgang 1910

Marburg
Kommissionsverlag der N. G. Elwert'schen Verlagsbuchhandlung
1911.

## Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg.

**Beneke, F. W.,** *Justus von Liebig's Verdienste um die Förderung der praktischen Medizin.* —.50

— *Über das Volumen des Herzens und die Weite der Arteria pulmonalis und Aorta ascendens in den verschiedenen Lebensaltern.* Mit 3 Tafeln. 4.—

— *Über die Weite der Aorta thoracica und Aorta abdominalis in den verschiedenen Lebensaltern.* Mit 2 Tafeln. 4.—

— *Über die Weite der Iliacae communes, Subclaviae und Carotides communes in den verschiedenen Lebensaltern* Mit 6 Tafeln. 5.—

— *Zur Statistik der Carcinome insonderheit deren Vorkommen in Strafanstalten* 2.—

— *Zum Verständnis der Wirkungen der Seeluft u. d. Seebades.* —.50

— *Zur Ernährungslehre des gesunden Menschen.* —.80

**Claudius, Fr. M.,** *Das Leben der Sprache.* —.50

**Dohrn, R.,** *Zur Kenntnis der Müller'schen Gänge und ihrer Verschmelzung.* Mit 3 Tafeln. —.80

— *Über die Entwicklung des Hymens.* Mit 10 Tafeln. 3.—

— *Die geburtshülflichen Operationen in Kurhessen während der Jahre 1852—66* Mit 11 Tafeln. 3.—

— *Die geburtshülflichen Operationen in Nassau während der Jahre 1860—66* Mit 8 Tabellen. 2.—

**Gasser, E.,** *Der Primitivstreifen bei Vogelembryonen.* Mit 10 Taf. 8.—

**Heusinger, C. F.,** *Geschichte des Hospitals Sankt Elisabeth in Marburg* 1.50

**Lahs, H.,** *Die Geburt mit unterbrochenem Allgemeinen Inhaltsdruck, die pathologische Geburt.* 2.—

— *Zur Kenntnis der Wirkungen der Lageänderungen der Frucht innerhalb des Fruchtwassers.* —.50

**Lieberkühn, N.,** *Über Bewegungserscheinungen der Zellen.* Mit 5 Tafeln. 2.—

— *Über das Auge des Wirbeltierembryo.* Mit 11 Tafeln. 5—

**Marchand, F.,** *Beiträge zur Kenntnis der Placentarbildung.* Die Placenta des Kaninchens mit Bemerkungen über die Placenta der Katze. Mit 4 Doppeltafeln und 1 Textfigur. 4—

**Pfannkuch, W.,** *Zur Statistik der geburtshülflichen Operationen in Kurhessen* Mit 4 Tabellen. —.75

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

---

**Jahrgang 1910**

---

Marburg
Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch
1911.

# Inhalts-Angabe.


Seite

Herr *P. Römer*: Zur Theorie der spezifischen Eiweissüberempfindlichkeit . . . . . 1

Herr *F. Richarz*: Nachruf für Friedrich Kohlrausch . . . . . 13

Herr *F. Richarz:* Demonstration seiner für das deutsche Museum bestimmten Versuchsanordnung zur Ermittelung der Dichtigkeit des Erdkörpers . . . . . 16

Herr *Beneke*: Ueber den Einfluss der Hyperämie auf gefässumsponnene Hohlorgane . . . . . 19

Herr *Beneke:* Fibringerinnung und Thrombose . . . . . 23

Herr *Beneke*: Ueber Krystallisationsvorgänge am Hämoglobin des Hundeblutes . . . . . 31

Herr *F. A. Schulze*: Zur Metalloptik . . . . . 37

Herr *Fr. Kutscher*: Die Extraktivstoffe einiger Seetiere . . . . 45

Herr *P. Friedrich*: Ueber seit 9 Jahren festgestellte operative Dauerheilung einer besonders schweren, durch Hirngeschwulst bedingten Psychose. Vorstellung des dauernd geheilt gebliebenen Kranken . . . . . 51

Herr *Disse*: Ueber die Lymphbahnen der menschlichen Magenschleimhaut . . . . . 54

Herr *F. Richarz*: Anwendung der Elektronentheorie auf den Magnetismus . . . . . 67

Herr *F. A. Schulze*: Die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit und thermoelektrischen Kraft Heuslerscher Legierungen von Temperatur und Dauer der Alterung . . . . . 71

Herr *F. A. Schulze*: Bestimmung der oberen Hörgrenze mit der Zahnradsirene . . . . . 73

Herr *F. A. Schulze*: Ermüdung des Ohres . . . . . 76

Herr *K. Stuchtey*: Versuche von Herrn W. Bieber, die Kondensation von Wasserdampf in Gegenwart von Ozon und Stickstoff betreffend . . . . . 78

Herr *A. Lohmann* und *A. Rasche*: Ueber eigentümliche Veränderungen der Herztätigkeit bei Warmblütern unter der Einwirkung von Chloroform . . . . . 81

## III.

Seite

Herr *Fr. Kutseher*: Bemerkungen über einige physiologisch wichtige Basen . . . . . 84

Herr *Schwantke*: Vorkommen des gediegenen Eisens im Basalt vom Bühl bei Cassel . . . . . 87

Herr *E. Kayser*: Nachruf für Theobald Fischer . . . . . 89

Herr *Fr. Kutscher*: Ueber einige Extraktivstoffe . . . . . 91

Herr *E. Berlin*: Die Synthese des $\gamma$-Homocholins . . . . . 95

Herr *F. Schenck*: Ueber Zuckungssummation bei verschieden starken Reizen . . . . . 99

Herr *A. Lohmann* und *A. Rasche*: Aufhebung der normalen Ursprungsreize des Herzens bei Chloroformatmung . . . . . 100

Herr *F. A. Schulze*: Messung der Wärmeleitfähigkeit von kurzen dünnen Metalldrähten nach der Methode von F. Kohlrausch . 103

Herr *F. Richarz*: Lichtbild seiner im Deutschen Museum zu München aufgestellten Apparate zur Bestimmung der mittleren Erddichte 110

Herr *F. Richarz*: Ueber Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmen $\varkappa = c_p/c_v$ bei reinem Sauerstoff und Vermeidung einer merkwürdigen dabei auftretenden Fehlerquelle 111

Aufgelegte Schriften, Seite 10, 66, 88, 102.

# Verzeichnis der Mitglieder*)

(am Schluss des Jahres 1910).

## Ehrenmitglieder.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Retzius, Gustav*, Prof. emerit. der Anatomie, Stockholm . | 18. | 1. | 99. |
| *Marchand, Felix*, Dr. med., o. Prof. d. path. Anat., Geh. Med.-Rat, Leipzig . . . . . | 9. | 1. | 01. |
| *Hittorf, Wilhelm*, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Geh. Reg.-Rat, Münster . . . . . | 19. | 11. | 01. |
| *Graf Zeppelin*, Dr. ing., Exzellenz, Friedrichshafen . . . | 5. | 8. | 08. |

## Einheimische Mitglieder.

### A. Ordentliche.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ahlfeld, Friedrich*, Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie, Geh. Med.-Rat . . . . . | 11. | 7. | 83. |
| *Bach, Ludwig*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie . . | 28. | 11. | 00. |
| *Bauer, Max*, Dr. phil., o. Prof. d. Mineralogie, Geh. Reg.-Rat | 11. | 3. | 85. |
| *v. Behring, Emil*, Dr. med., o. Prof. d. Hygenie, Wirkl. Geh. Rat | 15. | 5. | 95. |
| *Beneke, Rudolf*, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie . | 14. | 11. | 06. |
| *Bonhoff, Heinrich*, Dr. med., o. Prof. der Hygenie . . . | 9. | 3. | 04. |
| | (8. | 11. | 99) |
| *Disse, Joseph*, Dr. med., o. Honorar-Professor d. Anatomie u. I. Prosector . . . . . | 13. | 11. | 95. |
| *Feussner, Wilhelm*, Dr. phil., a. o. Prof. der Physik . . | 14. | 7. | 81. |
| | (10. | 6. | 69) |
| *Friedrich, Paul*, Dr. med., o. Prof. d. Chirurgie, Geh. Med.-Rat | 12. | 2. | 08. |
| *Gasser, Emil*, Dr. med., o. Prof. d. Anatomie. Geh. Med.-Rat | 27. | 1. | 88. |
| | (16. | 7. | 74) |
| *Hensel, Kurt*, Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . . | 10. | 12. | 02. |
| *Kayser, Emanuel*, Dr. phil., o. Prof. d Geologie, Geh. Reg.-Rat | 13. | 1. | 86. |
| *Korschelt, Eugen*, Dr. phil., o. Prof. der Zoologie . . . | 26. | 7. | 93. |
| *Kutscher, Friedrich*, Dr. med., a. o. Prof. der Physiologie | 12. | 2. | 08. |
| | (16. | 2. | 98) |

*) Die Daten bedeuten den Tag der Ernennung, die in Parenthese gesetzten Daten den Tag der Ernennung zum ausserordentlichen Mitglied

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Mannkopff, Emil,* Dr. med., a. o. Prof. d. inn. Med., Geh. Med.-Rat | 8. | 5. | 67. |
| *Meyer, Arthur,* Dr. phil., o. Prof. d. Botanik . . . . . | 4. | 11. | 91. |
| *Neumann, Ernst,* Dr. phil., o. Professor der Mathematik . | 8. | 5. | 07. |
| | (13. | 12. | 05) |
| *Ostmann, Paul,* Dr. med., Professor der Otologie . . . | 13. | 11. | 95. |
| *Rathke, Bernhard,* Dr. phil., o. Hon.-Prof. der Chemie . . | 14. | 3. | 84. |
| *Richarz, Franz,* Dr. phil., o. Professor der Physik . . . | 15. | 5. | 01. |
| *Schenck, Friedrich,* Dr. med., o. Professor der Physiologie | 15. | 5. | 01. |
| *Schmidt, Ernst,* Dr. phil., o. Prof. d. pharm. Chem., Geh. Reg.-Rat | 11. | 3. | 85. |
| *Schmidtmann,* Dr. med., Königl. Kurator der Universität, Wirkl. Geh. Ober-Reg.-Rat . . . . . | 4. | 8. | 10. |
| *Schulze, Franz Arthur,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doc. d. Physik | 5. | 8. | 08. |
| | (31. | 7. | 01) |
| *Tuczek, Franz,* Dr. med., o. Prof. d. Psychiatrie, Geh. Med.-Rat | 15. | 5. | 95. |
| | (14. | 3. | 90) |
| *Zincke, Theodor,* Dr. phil., o. Prof. d. Chemie, Geh. Reg.-Rat | 13. | 1. | 76. |

## B. Ausserordentliche.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Andrée, Karl,* Dr. phil., Priv.-Docent . . . . . | 4. | 2. | 11. |
| *Diels, Ludwig,* Dr. phil., a. o. Prof. der Botanik . . . . | 28. | 7. | 09. |
| *v. Dalwigk, Friedrich,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doc. d. Mathemat. | 9. | 5. | 00. |
| *v. Drach, Alhard,* Dr. phil.. a. o. Prof. d. Mathematik . . | 11. | 7. | 66. |
| *Flade, Friedrich,* Dr. phil., Priv.-Doc. für Chemie . . . | 4. | 8. | 10. |
| *Fries, Carl,* Dr. phil., Abteilungsvorsteher am chem. Institut | 9. | 3. | 04. |
| *Gürber, August,* Dr. med. et phil., o. Professor, Director des pharmakol. Institutes . . . . . | 9. | 12. | 08. |
| *Häcker, Rudolf,* Dr. med., Priv.-Doc. für Chirurgie, Oberarzt der chirurgischen Klinik . . . . . | 7. | 6. | 10. |
| *Harms, Wilhelm,* Dr. phil., Priv.-Doc. für Zoologie . . . | 7. | 6. | 10. |
| *Hellinger, Ernst,* Dr. phil., Priv.-Docent . . . . . | 12. | 1. | 10. |
| *Heyde,* Dr. med., Assistent a. d. chirurg. Klinik . . . . | 7. | 6. | 10. |
| *Hildebrand, Heinrich,* a. o. Professor der Medicin . . . | 14. | 12. | 04. |
| *Jahrmärker, Max,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc., Oberarzt d. psychiatr. Klinik . . . . . | 9. | 2. | 04. |
| *Krauss, Wilhelm,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc. d. Augenheilkunde | 10. | 7. | 07. |
| *Lohmann, Alfred,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc. d. Physiologie | 8. | 2. | 05. |
| *Reissert, Arnold,* Dr. phil., Professor, Priv.-Doc. der Chemie | 11. | 2. | 03. |
| *Rieländer, August,* Dr. med., Prof., Priv.-Doc. der Gynaekologie . . . . . | 13. | 6. | 06. |
| *Römer, Paul,* Dr. med., a. o. Professor der Hygiene . . | 9. | 2. | 04. |

*Schwantke, Arthur*, Dr. phil., Priv.-Doc., Assistent am mineral. Institut . . . . . 21. 6. 99.
*Rühl, Alfred* Dr. phil., Priv.-Doc. . . . . 28. 7. 09.
*Schöne, Georg*, Dr. med., Priv.-Doc. für Chirurgie . . . 7. 6. 10.
*Siebert, Carl*, Dr. phil., Chemiker . . . . . 14. 5. 02.
*Stuchtey, Karl*, Dr. phil., Assistent am physik. Institut . 9. 12. 08.
*Take, Emil*, Dr. phil., Assistent am physik Institut . . . 9. 12. 08.
*Tönniges, Carl*, Dr. phil., Assistent am zoolog. Institut . 16. 2. 98.
*Veit, Otto*, Dr. med., II. Prosektor . . . . . 28. 7. 09.
*Wegener, Alfred*, Dr. phil., Priv.-Doc. . . . . 28. 7. 09.

## Auswärtige Mitglieder. *)

*Ach, Narciss*, Dr. med. et. phil., Professor der Philosopie, Königsberg . . . . . (8. 2. 05)
*Ackermann, Dankwart*, Dr. med., Priv.-Doc. d Physiologie, Würzburg . . . . . (5. 8. 08)
*Aschoff, Ludwig*, o. Prof d patholog. Anatomie, Freiburg i Br. 17. 6. 03.
*Axenfeld, Theodor*, Dr. med., o. Prof. d. Ophthalm., Freiburg i. Br. (15. 1. 96)
*Barth, Adolf*, Dr. med., o. Prof. d. Otologie, Leipzig . . 4. 11. 91.
*Barth, Arthur*, Dr. med., Prof., Oberarzt, Danzig . . . (13. 11 95)
*Böhm, Rud.* Dr. med., o. Prof. d. Pharm., Geh. Med.-Rat, Leipzig 20. 5. 81.
*Borrmann, Rob.* Dr. med., Priv.-Doc. d. path. Anatom., Göttingen (14. 5. 02)
*Brauer, August*, Dr. phil., Professor, Direktor des naturhistorischen Museums, Berlin . . . . . 17. 5. 99.
(17. 6. 96)
*Brauer, Ludolf*, Dr. med., o. Prof, Dir. d. med. Klinik in Hamburg-Eppendorf . . . . . 14. 12. 04.
*Braun, Ferdinand*, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Strassburg (8. 2. 78)
*Braun, Heinrich*, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Med.-Rat, Göttingen . . . . . 14. 4. 90.
*Brauns, Reinhard*, Dr. phil., o. Prof. d Mineralogie, Bonn (27. 1. 88)
*Buchholz, Adolf*, Dr. med., Prof., Oberarzt, Hamburg . . 8. 12. 97.
*Busz, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Münster . (19. 6. 95)
*Dietrich, Thodor*, Dr. phil., Prof., Geh. Reg.-Rat, Hannover (15. 1. 96)
*Drevermann, Fritz*, Dr. phil., Priv.-Doc., Frankfurt . . . (11. 2. 03)
*Enderlen, Eugen*, Dr. med., Prof. der Chirurgie, Würzburg 12. 2. 97.
*Falk, Ferdinand August*, Dr. med., a. o. Prof. d. Pharm., Kiel 28. 4. 75.
*Fraenkel, Carl*, Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Halle . . 4. 11. 91.
*Fuëter, Rudolf*, o. Professor der Mathematik, Basel . . . (3. 5. 07)

*) Die mit einem * bezeichneten sind korrespondierende, die sämtlichen übrigen ehemalige einheimische Mitglieder.

*Gadamer, Johannes*, Dr. phil., o. Prof. der pharmaceut. Chemie, Breslau . . . . . (9. 3. 98)
*Goebel, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Botanik, München . . 27. 1. 88.
*Haselhoff, Emil*, Dr. phil., Prof., Dir. d. landw. Versuchsstation 11. 2. 03.
*Heffter, Arthur*, Dr. phil., et med., o. Professor der Pharmakologie, Berlin . . . . . 14. 11. 06.
*Heine, Leopold*, o. Professor der Ophthalmologie, Kiel . . (18. 1. 99)
*Hermann, Theodor*, Dr. phil., Hanau . . . . . (2. 7. 68)
*Hess, Carl*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmol., Würzburg 11. 11. 96.
*Hess, Otto*, Dr. med., Prof., Priv.-Doc. der inneren Med., Oberarzt, Posen . . . . . (25. 6. 02)
**Heusler, Fritz*, Dr. phil., Dillenburg . . . . . 8. 2. 05.
*Jung, Heinrich*, Dr. phil., Priv.-Doc. der Mathematik, Oberlehrer, Hamburg . . . . . 13. 12. 05.
*v. Koenen, Adolf*, Dr. phil., o. Professor der Geologie, Geh. Berg.-Rat, Göttingen . . . . . 28. 4. 75.
*Kossel, Albrecht*, Dr. med., o. Prof. der Physiol., Heidelberg 15. 5. 95.
*Krehl, Ludolf*, Dr. med., o. Prof. d. inn. Med., Heidelberg 8. 11. 99.
*Küster, Fr. Wilh.*, Dr. phil., o. Prof., Gutsbes., Müncheberg bei Berlin . . . . . (26. 7. 93)
*Küster, Ernst*, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Reg.-Rat, Berlin . . . . . 4. 11. 91.
*Küttner, Hermann*, Dr. med., o. Prof. d. Chirurg., Breslau 2. 8. 05.
*Loewi, Otto*, Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Graz (15. 5. 01)
*Lotz, Heinrich*, Dr. phil., Geologe, Berlin . . . . . (13. 12. 99)
*Meisenheimer, Johannes*, Dr. phil., a. o. Prof. d. Zoologie, Jena 5. 8. 08. (16. 9. 98)
*Meyer, Hans*, Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Wien 11. 3. 85.
*Müller, Friedrich*, Dr. med., o. Prof. der inn. Med., München 26. 4. 98.
*Neide, Ernst*, Dr. phil., Allstedt, Grossherzogtum Sachsen 13. 1. 04.
*Noll, Alfred*, Dr. med., a. o. Prof., Jena . . . . . (16. 2. 95)
*Oestreich, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Geographie, Utrecht (9. 3. 04)
*Opitz, Erich*, Dr. med., Prof., Direkt. d. Frauenkl., Düsseldorf (13. 1. 04)
*Pfannkuch, Wilhelm*, Dr. med., prakt. Arzt, Cassel . . . (17. 1. 72)
*Pfeffer, Wilh.*, Dr. phil., o. Prof. d. Botanik, Geh. Hofrat, Leipzig (27. 4. 71)
*Plate, Ludwig*, Dr. phil., o. Professor der Zoologie, Jena (27. 1. 88)
*Plenge, Enriquez*, Dr. med., Heidelberg . . . . . (7. 3. 99)
*Ransom, Frederick*, Dr. med., Cambridge . . . . . (7. 3. 99)
**Rehn, Joh. Heinrich*, Dr. med., San.-Rat, Frankfurt a. M. 26. 11. 80.
*Rein, Johannes*, Dr. phil., o. Prof. d. Geogr., Geh. Reg.-Rat, Bonn 1. 12. 76.
*Ribbert, Hugo*, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie, Bonn 20. 6. 00.
*Romberg, Ernst*, Dr. med., o. Prof. der klin. Medicin, Tübingen 20. 5. 00.

*Rost, Eugen*, Dr. med., Regierungsrat, Berlin . . . . . (16. 2. 98)
*Rubner, Max*, Dr. med., o. Prof. d. Physiol., Geh. Med.-Rat, Berlin 13. 1. 86.
*Rumpf, Theodor*, Dr. med., Professor, Bonn . . . . . 14. 3. 90.
*Rupp, Erwin*, Dr. phil., a. o. Prof. für Pharmacie, Königsberg (14. 12. 04)
*Ruppel, Wilhelm*, Dr. phil., Professor, Höchst . . . . . (18. 7. 00)
*Sauerbruch, Ferd.*, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Zürich 7. 6. 10.
*Schaum, Carl*, Dr. phil., a. o. Prof. d. physik. Chemie, Leipzig 13. 12. 05.
*Schenck, Rudolf*, Dr. phil., o. Prof. d. phys. Chemie, Aachen (11. 8. 97)
*Schmidt-Rimpler, Hermann*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Halle . . . . . 15. 11. 71.
*Schottelius, Max*, Dr. med., o. Prof. d. Hyg., Hofrat, Freiburg i. B. (11. 7. 79)
*Schottky, Friedrich*, Dr. phil., o. Prof. der Math., Berlin 15. 5. 95.
*Schridde, Hermann*, Dr. med., Priv.-Doc. d. pathol. Anatomie, Freiburg i. Br. . . . . (13. 12. 05)
*Schwenkenbecher, Alfred*, Dr. med., Prof., Direktor der med. Klinik, Frankfurt a. M. . . . . (13. 5. 08)
*Seddig, Max*, Dr. phil., Frankfurt . . . . . (17. 6. 03)
*Seemann, John*, Dr. med., Priv.-Doc. der Physiologie, München (5. 6. 02)
*Siemens, Friedrich*, Dr. med., Geh. Med.-Rat, Dir. der Landes-Irrenanstalt Lauenburg i. P. . . . . (19. 12. 79)
**Speck, Carl*, Dr. med., San.-Rat, Kreis-Physik. Dillenburg 5. 4. 71.
*Stoeckel, Walter*, Dr. med., o. Prof., Director der gynäkol. Klinik, Kiel . . . . . 5. 8 08.
*Strahl, Hans*, Dr. med., o. Prof. der Anatomie, Giessen . 27. 1. 88.
(14. 12. 80)
*Straub, Walther*, Dr. med., o. Prof. d. Pharmakol., Freiburg (13. 12. 05)
*Study, Eduard*, Dr. phil., o. Prof der Mathematik, Bonn . (14. 3. 90)
*Thumb, Albert*, o. Prof. der indog. Sprachen, Strassburg . (14. 2. 06)
*Uthoff, Wilhelm*, Dr. med., o. Prof. d. Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Breslau . . . . . 4. 12. 91.
*Weber, Heinrich*, Dr. phil., o. Prof. d. Mathematik, Strassburg 11. 3. 85.
*Wendel, Walther*, Dr. med., Professor, Direktor d. städtischen Krankenhauses, Magdeburg-Sudenburg . . . . . (12. 2. 02)
*Wernicke, Erich*, Dr. med., Professor, Direktor des hygien. Instituts in Posen . . . . . 16. 2. 98.
(10. 2. 97)

## Der Vorstand.

*E. Kayser*, Vorsitzender. *Fr. Kutscher*, Ständiger Schriftführer.

### Engerer Ausschuss.

*E. Korschelt*, Stellvertretender Vorsitzender. *F. Richarz, F. Schenk.*

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 1 Januar 1910

In der Sitzung vom 12. Januar 1910 hielt Herr P. Römer den Vortrag:

### Zur Theorie der spezifischen Eiweissüberempfindlichkeit.

Das Fundament der Immunitätswissenschaft ist die bekannte Erfahrung, dass der lebende Organismus nach Berührung mit gewissen für ihn gefährlichen Substanzen, wie Infektionserregern und Infektionsgiften, gegen deren Wirkung unempfindlich wird. Er wird „immun". Gelegentlich experimenteller Immunitätsstudien ist man aber auf ein Phänomen gestossen, das gewissermassen die Umkehrung der ebengenannten Beobachtung bedeutet.

Bei Studien über die Diphtherie- und Tetanusgiftimmunität fand von Behring, dass manchmal der Organismus nicht nur keine Immunität durch die Behandlung mit den betr. Giften erwirbt, sondern im Gegenteil sich eine erhöhte Empfindlichkeit, eine „Ueberempfindlichkeit" bei ihm entwickelt. Allgemeineres Interesse erweckten diese Ueberempfindlichkeitsstudien, als die sog. Serumüberempfindlichkeit entdeckt wurde.

Hier liegen namentlich für gewisse Tierarten die Verhältnisse besonders drastisch, weil gewöhnliches Blutserum,

wofern es nur artfremd ist — Blutserum, das an sich ganz ungiftig für das betr. Tier ist — zum rasch tötlichen Gift für dasselbe Tier wird, wenn es zum zweiten Mal ihm injiziert wird. Das Versuchstier par excellence für diese Serum-Ueberempfindlichkeitsstudien ist das Meerschwein.

Spritzen wir einem Meerschwein beispielsweise kleine Mengen von normalem Pferdeserum unter die Haut — es genügen Dosen von 0,000 001 ccm — so wirkt eine nach 3 bis 4 Wochen wiederholte Injektion desselben Serums giftig, bei Verwendung genügender Dosen und geeigneter Applikationsweise rasch tötlich. Für ein normales noch nicht mit Pferdeserum in Berührung gekommenes Meerschwein ist das in gleicher Weise und in gleicher Dosis applizierte Serum völlig ungiftig. Diese Serumüberempfindlichkeit ist spezifisch. Mit Pferdeserum vorbehandelte Tiere sind nur gegen Pferdeserum, mit Menschenserum vorbehandelte nur gegen Menschenserum überempfindlich u. s. w. Ich nehme gleich vorweg, dass es die Eiweisskörper des Blutserums sind, welche diese Ueberempfindlichkeit veranlassen.

Der spezifische Charakter dieser Eiweissüberempfindlichkeit einerseits, sowie die Tatsache, dass sie sich schon nach so kleinen Dosen einstellt, legt ohne weiteres den Gedanken nahe, diese Ueberempfindlichkeitsreaktion als ein Mittel der Artbestimmung von Eiweiss unbekannter Herkunft zu verwerten und sie z. B. für den forenischen Blutnachweis, für den Nachweis von Nahrungsmittelverfälschungen etc. zu benutzen. Für diesen Zweck ist sie bereits von einigen Autoren vorgeschlagen worden,

Auf meine Veranlassung hat in unserem Institut Herr Bachrach eine Methodik dieses biologischen Eiweissnachweises ausgearbeitet, die in der Tat so präcise Resultate gibt, dass sie zum mindesten als wertvolle Ergänzung der schon bekannten Methoden des biologischen Eiweissnachweises unter bestimmten Bedingungen geeignet ist. Wir

haben gefunden, dass die subkutane Injektion von ausgewachsenen Meerschweinchen mit Eiweisslösungen der verschiedensten Art, z. B. einem Extrakt aus alten angetrockneten Menschenblutflecken mit gleichzeitiger Injektion einer nichttötlichen Dosis von Diphtheriegift (entsprechend früheren Erfahrungen von Smith) die Meerschweine hochempfindlich gegen eine weitere Einverleibung des gleichen Eiweisses macht. Drei Wochen nach dieser ersten Injektion, der „sensibilisierenden" Injektion, führen wir die Reinjektion aus und zwar am besten intravenös mit 0,2 bis 0,4 ccm des betr. Serums, indem wir gleichzeitig normalen Kontrolltieren die gleiche Dosis beibringen. Letztere vertragen sie ohne jede Folgeerscheinungen. Die vorbehandelten „sensibilisierten" Tiere sterben nach dieser Reinjektion entweder in wenigen Minuten unter typischen Symptomen oder zeigen einen so schweren charakteristischen Symptomenkomplex, dass an der Diagnose „Spezifische Ueberempfindlichkeit" nicht gezweifelt werden kann. Bei Anwendung dieser an der Hand eigener Erfahrungen und derer anderer Autoren ausgearbeiteten Methodik hat die Ueberempfindlichkeitsreaktion einen auch für forensische Zwecke genügenden Grad von Sicherheit. Herr Bachrach wird seine Untersuchungen voraussichtlich in einer Dissertation demnächst beschreiben.

Doch über diese praktischen Zwecken dienenden Versuche nur nebenbei. Es soll uns hier vor allem die Frage interessieren, worauf diese eigenartige Ueberempfindlichkeit beruht. Die Ursache der Giftwirkung der Reinjektion muss im Organismus selbst gelegen sein, der durch die erste Einspritzung eine derartige Umstimmung erfahren haben muss, dass er nunmehr hochempfindlich gegen das sonst atoxische Eiweiss geworden ist. Die Specifität dieser Ueberempfindlichkeit legt ohne weiteres den Gedanken nahe, dass es ganz specifische, nur mit dem eingespritzten Stoff in Wechselwirkung tretende Reaktionsprodukte sein müssen, die die Ueberempfindlichkeit veranlassen. Solche specifisch wirkende Reaktionsprodukte

nennen wir Antikörper. Sie finden sich in der Regel im Blutserum gelöst. Das Experiment gibt dieser Ueberlegung a priori Recht. Uebertragen wir nämlich das Serum eines durch Serumbehandluug sensibilisierten Meerschweinchens auf ein neues normales Meerschwein, so wird auch dieses gegen das entsprechende Eiweiss überempfindlich. Es findet sich also im Blutserum der durch Serumbehandlung künstlich überempfindlich gemachten Meerschweine ein spezifisch überempfindlich machender Reaktionskörper, den man entsprechend der üblichen Wortbildung zur Kennzeichnung anderer Antikörperwirkungen „Sensibilisin" genannt hat.

Es beruht also die — bei der beschriebenen Methodik oft tötliche — Ueberempfindlichkeitsreaktion auf einer Reaktion, die sich zwischen dem eingespritzten Eiweiss und dem Antikörper, dem Sensibilisin, abspielt. Wir kennen nun schon einiges über die Art, wie sich eine solche Eiweiss-Antieiweissreaktion abspielt. Wenn wir Menschenserum mischen mit dem Serum eines Tieres, das mit Menschenserum eingespritzt ist, so entsteht ein Niederschlag. Wir nennen diese forensisch so wichtige Reaktion Präcipitinreaktion. Nicht immer aber spielt sich die Reaktion zwischen Eiweiss und Antieiweiss so grob sinnfällig ab und wir müssen zu einem komplizierten Apparate greifen, um sie uns erkennbar zu machen.

Wenn wir ein Kaninchen mit den roten Blutkörperchen des Schafes behandeln, so gewinnt das Blutserum dieses Kaninchens die Eigenschaft, die roten Blutkörperchen des Schafes in vitro aufzulösen. Es hat sich in seinem Blut ein specifisches „Haemolysin" gebildet. Erhitzen wir ein solches haemolytisches Serum, so verliert es die blutkörperchenlösende Wirkung, gewinnt sie aber sofort wieder, wenn wir eine ganze kleine, an sich rote Blutkörper nicht lösende Dosis von normalem Meerschweinchenserum zusetzen. Es beruht also die Wirkung eines Haemolysins auf dem Zusammenwirken zweier Komponenten, einer spezifischen,

thermostabilen, durch die Vorbehandlung mit Schafblut erzeugten und einer im normalen Serum, besonders des Meerschweinchens, vorhandenen unspecifischen, thermolabilen Komponente. Wir nennen nach Ehrlich's Nomenklatur diesen unspecifischen Anteil „Komplement", den specifischen thermostabilen „Amboceptor". Nun macht sich die vorhin genannte Eiweiss-Antieiweissreaktion in eigenartiger Weise geltend, wenn wir sie vereinigen mit einem solchen „haemolytischen System", d. h. Komplement + Amboceptor + Blut. Mischen wir beispielsweise Menschenserum mit dem Antikörper gegen Menschenserum (d. h. mit dem Serum eines mit Menschenblut behandelten Kaninchens) und fügen ein hämolytisches System hinzu, so bleibt die erwartete Haemolyse aus. Wie wir nachweisen können, deshalb, weil das für die Haemolyse unumgänglich nötige Komplement in die Verbindung von Menscheneiweiss-Antieiweiss mithineingezogen, „abgelenkt", „gebunden" ist. Diese Komplementbindung tritt nur ein, wenn sich eine solche specifische Reaktion zwischen Eiweiss und Antieiweiss im Gemiseh abspielt. Ein Schema möge diese Verhältnisse illustrieren:

I.

Menschenserum + Menschen-Antiserum
+
Komplement
+
Amboceptor
+
Blut

= keine Haemolyse (da das Komplement in der Reaktion Menschenserum - Menschenantiserum mitgebunden wird.)

II.

Menschenserum + normales Kaninchen-Serum
+
Komplement
+
Amboceptor
+
Blut

= Haemolyse (Das Komplement steht für das Blut zur Verfügung, da sich zwischen Menschenserum und normalem Kaninchenserum keine Reaktion abspielt.)

III.

Pferdeserum + Menschen-Antiserum
+
Komplement
+
Amboceptor
+
Blut
= Haemolyse (Das Komplement steht für das Blut zur Verfügung, da sich zwischen Pferde-Serum und Menschen-Antiserum keine Reaktion abspielt)

Wir kennen also zwei in vitro darstellbare specifische Wirkungen der Reaktion zwischen Eiweiss und Antieiweiss: Die Niederschlagsbildung (Praecipitation) und die Komplementbindung.

Die Ueberempfindlichkeitsreaktion ist eine Eiweiss-Antieiweissreaktion in vivo. Wie kommt sie zustande? Spielt eine der genannten Wirkungen eine Rolle?

Eine Praecipitatbildung kommt jedenfalls als Ursache der Ueberempfindlichkeitsreaktion nicht in betracht. Die Erörterung der Gründe würde mich zu weit führen. Dagegen hat mit einer sehr glücklichen Ueberlegung Friedberger die Aufmerksamkeit auf die Möglichkeit der Komplementbindung als Ursache der Ueberempfindlichkeitsreaktion gelenkt. Friedberger zeigte zunächst, dass im Anschluss an die Ueberempfindlichkeitsreaktion eine Komplementverarmung des betr. Organismus eintritt. Dass sie nicht ein zufälliges Begleitsymptom der Ueberempfindlichkeitsreaktion ist, sondern wirklich deren Ursache, konnte er ebenfalls zeigen. In koncentrierten Salzlösungen bleibt die erwähnte specifische Komplementbindung aus. Spritzte er daher einem sensibilisierten Meerschwein unmittelbar vor der Serum-Reinjektion eine concentrierte Salzlösung ein, die noch eben von dem Tier vertragen wurde, so blieb die Ueberempfindlichkeitsreaktion aus.

Nun entsteht sofort die weitere Frage: Werden die Ueberempfindlichkeitssymptome bezw. der Ueberempfindlichkeitstod dadurch veranlasst, dass das Blut des betr.

Tieres das Komplement verliert, also vielleicht deshalb, weil ein lebenswichtiger Stoff aus dem Blut verschwindet, oder wirkt gerade die Bindung des Komplementes giftig, etwa in dem Sinne, dass sie die Eiweiss-Antieiweissverbindung giftig macht, aus ihr ein Gift abspaltet etc.?

Friedberger neigt der letzteren Auffassung zu; denn wenn er reinjicierten Meerschweinen unmittelbar nach der Reinjektion reichlich neue Komplementmengen zuführte, so trat doch der Ueberempfindlichkeitschok ein. Die Verarmung des Blutes an Komplement konnte also nicht die Ursache der Vergiftung sein. Man könnte hier aber einwenden, dass das neu eingespritzte Komplement ebenfalls noch durch die sich zwischen Eiweiss und Antieiweiss in vivo abspielende Reaktion gebunden wurde.

Ich glaube aber, dass Friedberger Recht hat und möchte hierfür einen Beweis beibringen. Wenn die Komplementverarmung des Blutes die Ursache der Vergiftung ist, dann müsste gerade bei solchen Tieren, die wenig Komplement besitzen, die Vergiftung sehr prompt und intensiv eintreten, da ihr Blut dann vermutlich besonders rasch seines Komplementgehaltes beraubt wäre. Wäre umgekehrt die Tatsache der Bindung des Komplementes von Bedeutung, spielte also das Komplement eine aktive Rolle bei der Ueberempfindlichkeitsreaktion, so müsste gerade bei Tieren mit hohem Komplementgehalt die Vergiftung besonders intensiv sein.

Ich habe nun bei mit Pferdeserum sensibilisierten Meerschweinen kurz vor der Reinjektion mit Pferdeserum eine Blutprobe abgenommen und deren Komplementgehalt mit den üblichen Methoden genau quantitativ bestimmt. Dabei zeigte sich, dass bei den Tieren mit dem stärksten Komplementgehalt auch die Vergiftungssymptome am intensivsten waren. Es bestand allerdings kein völliger Parallelismus, da ja naturgemäss die Ueberempfindlichkeitsreaktion auch noch von der individuell wechselnden Menge des im Meerschweinorganismus gebildeten Antikörpers abhängt. Aber bei der

Auswahl gleichalter, gleichschwerer, gleichrassiger und in absolut gleicher Weise vorbehandelter Meerschweine entsprach die Wirkung der Reinjektion doch recht genau dem Komplementgehalt. Speziell fand sich bei einem refraktären Meerschwein ein auffallend niedriger Gehalt an Komplement.

Nach diesen Versuchen nehme ich in Uebereinstimmung mit Friedberger an, dass dem sog. Komplement des Blutserums eine aktive Rolle bei dem Vergiftungsbild der Ueberempfindlichkeitsreaktion zukommt.

Wir wissen also, dass die Ueberempfindlichkeitsreaktion zustande kommt infolge einer specifischen Reaktion, die sich zwischen Eiweiss und Antieiweiss abspielt, wobei der gleichzeitig erfolgenden Komplementbindung eine wichtige Rolle zukommt, und zwar mit allergrösster Wahrscheinlichkeit in der Richtung, das eine aktive Tätigkeit des Komplementes das in Wirksamkeit tretende Gift frei macht.

Im übrigen ist diese eigenartige Vergiftung noch nicht völlig geklärt und bedarf dringend weiterer Analyse. Denn was wir weiter noch wissen, ist lediglich, dass eine starke Blutdrucksenkung bei der Vergiftung eintritt und vermutlich die Ursache der Symptome ist. Die Art des wirksamen Giftes aber, sein Angriffspunkt und andere Fragen bedürfen noch der Aufklärung.

Endlich darf ich vielleicht auf die Verwertbarkeit der Reaktion für allgemein-biologische Fragen hinweisen. Ich erwähnte die Specifität der Reaktion. Sie ist keine absolute. Mit Menschenserum vorbehandelte Meerschweine sind nicht nur gegen Menschenserum. sondern auch gegen Affenserum überempfindlich, mit Pferdeserum behandelte auch gegen Eselserum, mit Schafblut vorbehandelte auch gegen Ziegenserum u. s. w. Die Reaktion ist also sehr gut verwertbar zur Erkennung der phylogenetischen Beziehungen der Tierarten. Wir kennen allerdings noch präciser arbeitende

Methoden der biologischen Eiweissdifferenzierung als diese Ueberempfindlichkeitsreaktion (z. B. die Praecipitinreaktion); die Ueberempfindlichkeitsreaktion hat aber einen grossen technischen Vorteil. Wir bedürfen zu ihr nur minimale Mengen von Blutserum, während für die Gewinnung der Antikörper für die anderen biologischen Reaktionen grosse Quantitäten erforderlich sind. Für schwer zu beschaffende und kleine Objekte hätte also die Ueberempfindlichkeitsreaktion technische Vorteile.

Gerade die Bedeutung, die der Ueberempfindlichkeitsreaktion für biologische Fragen noch zukommen dürfte, veranlasste mich nicht zuletzt zu dieser Mitteilung.

---

In der Wahlsitzung wurde Herr Privatdozent Dr. Hellinger zum ausserordentliehen Mitglied gewählt.

Aufgelegte Schriften:

New York State Museum. 61 Annual Report 1907. Vol. 1—3. Albany 1908.

Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society. Vol. XXV. No. 2. Juni 1909.

The American Naturalist. Vol. XVIII. No. 511. Juli 1909.

Annual Report on the Mineral Produktion of Canada. No. 26. 1906.

Bulletin of the Lloyd Library of Botany etc. Cincinnati, Ohio. Reprodukt. Series No. 7.

Geological Survey of Canada. Prov. of Nova Scotia. No. 39, 40, 41, 49, 50. 51/52, 53, 54, 55, 100/110.

Canada, Deputment of Mines geological survey branch. Province of Nova Scotia. No. 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73.

Boletin del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Peru. No. 68, 69. Lima 1908. 1909.

Anales del Museo national de Buenos Aires. Serie III. Tomo X. Buenos Aires 1909.

Paradones del Instituto geologico de Mexiko. Tomo II. No. 10. 1909.

Atti della Reale Academia dei Lincei. Anno 1909. Vol. XVIII. Fascicolo 11, 12. Roma 1909.

Atti della Società Toskana di Scienze naturali. Vol. XVIII. No. 3, 4, 1909.

Mitteilungen über die Vogelwelt. V. Jahrg. No. 20. 1905.

Separat-Abdruck aus dem XXII. Bande der Annalen des K. K. naturhistorischen Museums Wien. 1907.

Neunter Bericht des Lehrerklubs für Naturkunde 1907, 1908. Brünn 1909. Verlag des Lehrerkl. für Natkde.

Verhandlungen des naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg. Neue Folge. Bd. X. Heft 1. Heidelberg 1909.

Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz. Bd. XXVI. Görlitz 1909.

Notizblatt des Vereins für Erdkunde und der grossherzgl. geol. Landesanstalt zu Darmstadt. IV. Folge. 29. Heft. Darmstadt 1908.

Mitteilungen aus dem naturwissenschaftl. Verein für Neuvorpommern und Rügen in Greifswald. 40 Jahrgang 1908. (Berlin 1909.)

Sitzungsbericht des ärztlichen Vereins München. XVIII. 1908. (München 1909.)

Offenbacher Verein für Naturkunde, Ergänzung zum 43.—45. Jahresbericht. Offenbach Juli 1909.

Australasian Association. Advanc. Science. Bd. 21. Adelaide 1907.

Mem. and Proceed. Manchester Liter. a. Philos. Soc. Bd. 53, pt. 2. Manchest. 1908—09.

Gesell. d. Wissensch. Finnland: Oef versigt Nr. 48—50, Helsingsfors 1905—1908.
Dieselbe: Bidrag. H. 64—66. Helsingf. 1907 u. 8.
Dieselbe: Acta Soc. pro fauna et flora Fennica. Nr. **29—31**. Hels. 1904—1909.
Dieselbe Gesellschaft: Meddelanden 33 u. 34. Hels. 1906—1908.
Dieselbe Gesellschaft: Acta. Bd. **33**. u. **34**. Helsingf. 1907 u. 1908.
Dieselbe Gesellschaft: Festschrift f. Prof. Palmén. Bd. 1 u. 2. Helsingf. 1905—1907.
Acta Univers. Lundensis N. F. Abt. 2, Bd. 4. Lund 1908—1909.
Revista Sociedade Scientif. Sao Paulo. Bd. 2. Nr. 9—12. 1907.
Der Sao Gonzalo-Tanz unserer Caboclos. S. Paulo 1908.
Die Ribeira von Iguape, von Edm. Krug S. Paulo 1908
Archiv. real instit. Bacteriologica Camara Pestana. Bd. 2, fasc. 3. Lissab. 1909.
Atti reale Accad. Lincei. Bd. 18, H. 9 u. 10. Rom 1909.
Bullet-Acad, imp. Sciences St. Petersb. 1909. Nr. 8—11.
Mitteil. Medizin. Fak. Kais. japan. Univ. Tokyo. Bd. 8. Nr. 1 u. 2. 1908.
Verh. geol. Reichsanstalt Wien. 1909, Nr. 2—5. 1909.
67. Jahresber. Mus. Francisco-Carolinum. Linz 1909.
60. Ber. Lese- und Redehalle deutsch. Stud. Prag 1908.
Dörfleria, botan Zeitschr. 1. Jahrg. 1. Wien 1901..
Jahrb. Ungar. Karpathen-Ver. 37. Jahrg. Iglo 1909.
Schrift. Verein f. Geschichte u. Naturgesch. Donaueschingen. 12. Heft. 1909.
43.—50. Ber. Offenb. Ver. Naturk. 1909.
„Flora", Kgl. sächs. Ges. Botanik und Gartenbau: Sitzber. und Abh. N. F. Jahrg. 10 u. 11. 1905—07. Dresden 1909.
Verh. botan. Ver. Prov. Brandenburg. 50. Jahrg. 1908. Berlin 1909,
Leopoldina, Heft 45, Nr. 5 u. 6. Halle 1909.
34. Ber. Ges. Philomathie Neisse. 1906—1908.
Abh. naturw. Ver. Bremen. 19. Bd., Heft 3. Bremen 1909.
Beilage dazu: Schauinsland, Darwin und seine Lehre. 1909.
Verh. naturw. Vereins Karlsruhe. Bd. 21. 1907 u. 08. Karlsr. 1909.
Proceed. Amer. Acad. Arts. a. Sc. 44, 18—25. Boston 1909.
Proceed. Amer. Philos.-Soc. Philadelphia 48, 191. Philad. 1909.
American Naturalist. 43, 512—514. N. York 1909.
Bullet. Mus. Comp. Zoology Harvard College 52, 9. 10. 11—13; 53, 3. Cambridge Mass. 1909.
Mem. Mus. Comp. Zool. Harv. Coll. 27, 3; 38, 1. Cambr. 1909,
U. St. Geol. Survey. Bulletin Nr. 356, 368, 371, 372, 376, 378. Washington 1909.

U. St. Geol. Survey. Water-Supply Paper. Nr. 223, 225. Washington 1909.
U. St. Geol. Survey Profess. Paper 59: W. H. Dall, tert. paleont. Pacific Coast. W. 1909.
U. St. Geol. Survey. 28, annual report of the Director. Wash. W. 1907.
Smithsonian miscellan. collect. v. 52. (5, 3) Wash· 1909.
Smiths. Inst. annual rep. 1908. Wash. 1909.
Bullet. N, York Public Library. 13, 7—10. N. Y. 1909.
Bull. Wisconsin Nat.-Hist. Soc. 7, 1—2. Milwankee 1909.
Transact. Connecticut Acad. Arts a. Sc. 14, p. 237—290. N. Haven 1909.
Transact. Connecticut Acad. Arts a. Sc. 15. N. Haven 1909.
Field Mus. Nat. Hist. Public. 134. Geolog. Ser, 4, 1. Chicago 1909.
Univers. Studies. Univ. Nebrasca. 9. 2. Lincoln 1909..
Bull. Scientif. Laborat. Denison Univ. 14, art. 11—16. Granville 1909.
Ohio State Univ. Bulletin 13, 16 u. 22. Columbus, Oh. 1909.
Atti reale Accad. Lincei. Rendiconti 18, 1—7. Roma 1909.
Atti reale Accad. Lincei Rendic. adunanza sol. 6. 6. 1909. R. 1909.
Rendic. accad. Sc. fis. e. mat. 3. s. 15. fasi. 3—7. Napoli 1909.
Bollet. Labor. Zool. gen. ed. agr. Portici. 3. Portici 1909.
Annali fac. Medicina Univers. Perugia. 3. 5. 7, 1, 2. 1907.
Trav. scientif. labor. Zool. Physiol. marit. Concarneau I, 1. C. 1909.
Boletin Cuerpo Ingen. de Minas Peru. Nr. 70—74. Lima 1909.
Boletin Acad. nac. Ciencias Cordoba. 18, 3. Buen. Air. 1906.
Parergones Instit. Geologico Mexico. 3, 1. Mex. 1909.
Sitz.-Ber. Phys.-Mediz. Ges. Würzburg, Nr. 1—6. 1908.
Jahreshefte Ver. vaterländ. Naturk. Württemberg. Jahrg. 65. 1909 mit 2 Beilagen (IV. u. 6.) 1909.
Verh. Naturhistor. Ver. Rheinl.-Westf. Verhandl. Jahrg. 65. 2. Hälfte 1909. Sitz.-Ber. 1908, 2. Hälfte.
Verh. naturh.-mediz. Ver. Heidelberg. N. F. 10, 2. 1909.
Zeitschr. Naturw. Halle. Bd. 80, 5, 6 u. Bd. 81. 1—3. 1909.
Jahresber. Naturw. Ver. Elberfeld. Heft 12. 1909. Ber. u. Chem. Untersuch. f. 1908.
Sitz.-Ber. physik.-mediz. Soc. Erlangen. Bd. 40. 1908.
Jahresber. geogr. Ges. Greifswald. XI. 1909.
Schrift. d. phys.-ökon. Ges. Königsberg, Pr. Jahrg. 49. 1908.
Verh. Natur. Ver. Hamburg. 3. F. XVI. 1908 (1909).
Senckenberg. Naturf.-Ges. Abh. 30, u. 1909. 40. Ber. 1909.
Jahresber. ärztl. Ver. Frankfurt a. M. 1907.
Jahresb. Nassau. Ver. Naturk. Jahrg. 62. Wiesb. 1909.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 2 Februar 1910


In der ordentlichen Sitzung vom 9. Februar sprach zunächst Herr F. Richarz zur Erinnerung an das der Gesellschaft seit ihrer letzten Sitzung entrissene ordentliche Mitglied

### Friedrich Kohlrausch, † 17. Januar.

Geboren am 14. Oktober 1840 zu Rinteln an der Weser — wie früher zu Kurhessen, so auch jetzt noch zur Provinz Hessen-Nassau gehörig — siedelte Friedrich Kohlrausch mit seinem Vater im Jahre 1849 nach Cassel über, wo dieser eine Professur an der später von Preussen aufgelösten polytechnischen Schule übernahm. In den Jahren 1851—57 weilte Friedrich Kohlrausch zum ersten Male in unserer Stadt, als Schüler des Gymnasiums, an dem sein Vater Lehrer war, der aber unserer Universität gleichzeitig auch als ausserordentlicher Professor der Physik angehörte.

Der äussere Verlauf des weiteren Lebens von Friedrich Kohlrausch ist bekannt[1]); ebenso seine hervorragenden Verdienste in seinen beiden Hauptarbeitsgebieten: der Erforschung der Elektrolyse, sowie der Erfindung und Ausbildung exakter magnetischer und elektrischer Messmethoden. In seiner Lehr-

1) Siehe z. B. den Nachruf in „Hessenland", Ztschr. f. hess. Gesch. u. Literatur, Nr. 3 vom 1. Februar, Cassel, bei Friedr. Scheel.

tätigkeit hat bekanntlich zuerst er das Physikalische Praktikum so organisiert, wie es jetzt allgemein gehandhabt wird

Von seiner Schulzeit her hatte Friedrich Kohlrausch Marburg und unserer Hochschule stets ein treues Gedenken bewahrt, und so fasste er, der sich zeitlebens stets als Hessen betrachtet hatte, den Entschluss, seinen Lebensabend wieder hier bei uns zuzubringen, als er im Jahre 1905 die verantwortungsvolle und umfangreiche Tätigkeit eines Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt niederlegte. Er wurde bei seiner Uebersiedelung von Charlottenburg hierher zum ordentlichen Mitglied unserer Gesellschaft ernannt. Unvergesslich wird uns die tief innerliche Wärme bleiben, mit der er, von unserem Vorsitzenden Herrn Max Bauer zum ersten Male in unserer Mitte begrüsst, antwortete, dass es keine Hochschule gebe, die samt ihren wissenschaftlichen Einrichtungen und Gesellschaften seinem Herzen so nahe stehe, wie die unsrige. Hegte er doch für unsere Gesellschaft eine besonders dankbare Gesinnung in Erinnerung daran, dass sie seinem Vater vor einem halben Jahrhundert die Mittel zur ersten experimentellen Bestimmung des Verhältnisses der elektrostatischen und der elektromagnetischen Einheit der Elektrizitätsmenge gewährt hatte, welche berühmte Arbeit von Rudolf Kohlrausch hier im Physikalischen Institut in Gemeinschaft mit Wilh. Weber ausgeführt wurde, der dazu von Göttingen herüber kam.

Die wohltuende Befreiung von Amtsgeschäften brachte Friedr. Kohlrausch in Marburg zunächst Erholung, sodass er bald auch wieder die Kräfte fühlte zu eigener wissenschaftlicher Arbeit, und so führte er im hiesigen Physikalischen Institut noch wertvolle experimentelle Untersuchungen aus dem Gebiete der Elektrolyse aus. Teils als Frucht dieser Tätigkeit, teils als nachträgliche Ausarbeitung früherer Beobachtungen, teils als Resultate theoretischer Überlegungen erschienen von Friedrich Kohlrausch noch aus den letzten 5 Jahren seines Lebens, die er in unserer Mitte zubrachte, folgende Veröffentlichungen:

Das Leitvermögen wässriger Lösung von Radiumbromid (mit Henning). Ann. d. Phys. **20.** 1906, p. 96.

Über die Bestimmung einer Kapillarkonstante durch Abtropfen. Ebd **20.** 1906, p. 798.

Über die Wirkung der Becquerelstrahlen auf Wasser. Ebd. **21.** 1906, p. 87

Über elektrostatische Kapazität und Widerstandskapazität. Verh. d. D. Phys. Ges. **4.** 1906, p. 151.

Über Kapillarität und Tropfengrösse, Nachtrag. Ann. d. Phys. **22.** 1907, p. 191.

Über Jonenbeweglichkeiten im Wasser. Ztschr. f. Elektroch. 1907. pag. 333. Über die Resultate dieser seiner Neuberechnungen hielt Kohlrausch selbst einen ausführlichen Vortrag im Physikalischen Colloquium.

Über Leitvermögeu verdünnter Säuren. Ztschr. f. Elektroch. **13.** 1907 p. 645.

Über den Temperaturgang des Leitvermögens einer Lösung. Ztschr. f. phys. Chem. **58.** 1907, p. 630.

Der Temperaturkoeffizient der Jonenbeweglichkeiten in Wasser als Funktion der Beweglichkeit selbst. Ztschr. f. Elektroch. **14.** 1908, p. 129.

Elektrochemisches Äquivalent und Temperatur (mit Rud. H. Weber). Ann. d. Phys. **26.** 1908, p. 409.

Über gesättigte wässrige Lösungen schwerlöslicher Salze II. Die gelösten Mengen mit ihrem Temperaturgang. Ztschr. f. phys. Chem. **64.** 1908, p. 129.

Über das von F. und W. Kohlrausch bestimmte elektrochem. Äquivalent des Silbers, insbesondere mit Rücksicht auf die sogenannte Anodenflüssigkeit. Ann. d. Phys. **26.** 1908, p. 580.

Und ferner noch:

Kurzer Leitfaden der praktischen Physik, 2. Auflage. Leipzig bei Teubner, 1907.

Lehrbuch der praktischen Physik, 10. Aufl. 1905, 11. Aufl. [1910] zum 6. November 1909 seinem Vater gewidmet.

Eine noch zu Weihnachten 1909 mit E. Grüneisen begonnene Publikation wird von diesem vollendet werden.

Im Vorwort zu der letzten Auflage seines Lehrbuches nimmt Kohlrausch Abschied vom Leser in der Ahnung, dass die nächste Auflage nicht mehr aus seiner Hand hervorgehen würde.

Kohlrausch war von einer seltenen Lauterkeit und Reinheit des Charakters, stets rein sachlich in allen Erwägungen und Entschlüssen, keinen persönlichen Einflüssen, keinen rein äusserlichen Motiven zugänglich. Die Ehrungen, die ihm zahlreich zu teil wurden, veränderten nicht im mindesten seine Bescheidenheit und schlichte Einfachheit. Im näheren Verkehre war er einer der freundlichsten und liebenswürdigsten Menschen. Diese grossen persönlichen Vorzüge, verbunden mit der hervorragenden wissenschaftlichen Förderung, die allen zu teil wurde, die in Berührung mit ihm traten, gewannen ihm die Liebe und Verehrung zahlreicher Amtsgenossen und besonders der vielen Schüler, die zu seinen Füssen gesessen haben. Vielen von uns in Marburg ist er persönlich näher getreten, manchem ein warmer Freund und hilfreicher Berater geworden. Unsterblich in der Wissenschaft wird er weiter leben auch in der dankbaren Erinnerung seiner Freunde und Verehrer, ganz besonders auch in dem treuen Andenken unserer Gesellschaft.

---

Sodann demonstrierte Herr F. Richarz die Wage und eine Nachbildung der Versuchsanordnung, die er in Gemeinschaft mit O. Krigar-Menzel zur Bestimmung der Gravitationskonstante und mittleren Dichtigkeit der Erde benutzt hat. Das Deutsche Museum zu München beabsichtigt, beides neben der dort bereits vorhandenen Apparatur Jolly's zur Aufstellung zu bringen. Die vierschalige „Doppelwage" ist seinerzeit vom Mechaniker Herrn Paul Stückrath in Friedenau bei Berlin hergestellt worden, und zwar auf Kosten der Berliner Akademie der Wissenschaften, welche dieselbe jetzt für das Deutsche Museum bereitwilligst zur Verfügung gestellt hat. Die ursprünglich von Arthur König † und dem Vor-

tragenden vorgeschlagene Methode[1]) musste für die wirkliche Ausführung wesentlich umgestaltet werden.[2])

Die gravitierende Masse bei den Versuchen war ein aus Stücken von je 3 dm Länge, 1 dm Breite und Höhe im Verbund zusammengesetzter Bleiklotz, der als Ganzes eine quadratische Grundfläche von 2,1 m Seitenlänge und eine Höhe von 2 m besass. Dieser rund 100 000 kg schwere Bleiklotz war aufgebaut auf einem gemauerten Fundament, in welchem durch drei nebeneinander liegende $T$ = Träger zwei Kanäle ausgespart waren, damit in ihnen die beiden unteren Wagschalen der „Doppelwage“ frei schwebten. Die eigentliche Wage mit dem oberen Schalenpaar befand sich über der Mitte der oberen Fläche des ganzen Bleiklotzes, und zwar unabhängig von letzterem an besonderen Trägern befestigt, damit die in der Tat eingetretene — wenn auch kleine — Senkung des Fundaments unter der Last des Bleiklotzes die empfindliche Wage nicht in Mitleidenschaft zog. Unterhalb jeder der beiden oberen Wagschalen waren zylindrische Aussparungen von oben bis unten durch den ganzen Bleiklotz hindurch angebracht. Diese Durchbohrungen nahmen die Verbindungsstangen auf, vermittels deren die beiden unteren Wagschalen an die oberen angehängt waren.

Von dem ganzen nahezu kubischen Bleiklotz ist für das Deutsche Museum nachgebildet die vertikale Mittelschicht, durch welche die Verbindungsstangen zwischen dem oberen und dem unteren Wagschalenpaar hindurchführen. In der Aufstellung befinden sich auf den Wagschalen oben rechts und unten links je eins der Kilogrammgewichte, die aus vergoldeten bezw. platinierten Kupferkugeln bestehen. Kugel-

1) Arthur König und Franz Richarz, Sitz.-Ber. d. Berl. Ak. d. Wiss. 18. Dezember 1884, pag. 1203.

2) F. Richarz und O. Krigar-Menzel, Sitz.-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 23. März 1893, pag. 163. 26. November 1896, pag. 1305. Abhandlungen der Akademie 1898, Berlin in Kommission bei Georg Reimer.

form haben sie, damit ihre Masse für die Gravitationswirkung des Bleiklotzes als im Mittelpunkt konzentriert angenommen werden darf. In der vorhandenen Stellung der Gewichtskugeln wirkt die Gravitation des Bleiklotzes auf die Kugel oben rechts nach abwärts ziehend, auf die Kugel unten links nach aufwärts ziehend. Die Wage wird also im Uhrzeigersinne aus der Gleichgewichtslage herausgedreht werden, und zwar wird die Grösse der Ablenkung dem zweifachen Betrage der Anziehung des Bleiklotzes auf je 1 kg entsprechen Denkt man sich die Gewichtskugel rechts von der oberen auf die untere Wagschale gebracht, die Kugel links von der unteren auf die obere, so wirkt die Gravitation des Bleiklotzes auf jeder Seite gerade entgegengesetzt wie zuvor. Die Wage würde im umgekehrten Uhrzeigersinne aus der Gleichgewichtslage abgelenkt, und wiederum der Grösse nach entsprechend dem zweifachen Gravitationsbetrage. Die Differenz der Einstellungen der Wage bei der vorhandenen Kugellage und der zweiten gedachten Lage ergibt daher den vierfachen Betrag der Gravitationswirkung des Bleiklotzes.

Die für die Versuche benötigte Bleimasse wurde geliefert von der kgl. Geschützgiesserei zu Spandau. Um einen weiten Transport der grossen Masse zu vermeiden, wurde ein unterirdischer Raum in den Kasematten der Spandauer Citadelle für die Versuche hergerichtet; diese wurden in den Jahren 1885—96 ausgeführt.

Weiter sprach Herr Beneke:

**I. Ueber den Einfluss der Hyperaemie auf gefässumsponnene Hohlorgane.**

**II. Fibringerinnung und Thrombose.**

**III. Ueber Krystallisationsvorgänge am Haemoglobin des Hundeblutes.**

---

I. Ueber den Einfluss der Hyperaemie auf gefässumsponnene Hohlorgane.

Gestatten Sie mir Ihnen zunächst einen kleinen Apparat zu beschreiben, den ich für die Erledigung der Frage, ob ein von einem dichten Gefässnetz umgebener Hohlraum durch die übermässige Füllung der Gefässe verengt oder erweitert wird, konstruiert habe. Ich habe einen länglichen Sack aus Gummi mit einem Gummischlauch fest verlöten lassen, sodass der letztere in dichten spiraligen Windungen den Sack vollständig umschloss. Der Sack wurde mit Wasser gefüllt und durch den engen Hals eine dicht anschliessende Manometerröhre gesteckt, in welcher der Wasserstand beobachtet werden konnte.

Verbindet man nun den Gummischlauch, der an beiden Seiten offen ist, mit der Wasserleitung und lässt das Wasser unter verschiedenem Druck durch, so sinkt das Niveau im Manometer um so mehr, je stärker der Druck des im Schlauch fliessenden Wassers ist, d. h. durch die Dehnung des Schlauchs in die Länge wird auch der eingeschlossene Sack erweitert und saugt demgemäss das Wasser aus der Steigröhre an.

Diese Beobachtung ist für die Zustände vieler kugliger oder cylindrischer gefässumsponnener Organe von Bedeutung.

Wird das Gefässsystem eines solchen durch Hyperaemie gedehnt, und besteht einerseits eine feste Verbindung mit dem eingeschlossenen Organ, andererseits die Möglichkeit einer Ausdehnung der Gefässwände nach der Peripherie, d. h. also keine feste Einspannung des gesamten Apparates in unnachgiebiges Gewebe, so erfolgt nicht etwa, wie man vielleicht erwarten könnte, eine Druckzunahme in dem eingeschlossenen Organ durch Lumenverengerung, sondern eine Drucksenkung Flüssigkeitsströme können also eventuell mit grösserer Leichtigkeit in dessen Lumen eindringen. Neben den spezifischen Leistungen der lebenden Elemente des Systems z. B. ihrer Sekretionskraft, spielt dieser physikalische Entspannungszustand sicher eine Rolle bei zahlreichen Vorgängen.

Ich hatte mir die ganze Frage zuerst vorgelegt, als ich die Gründe der Entwicklung der Eiblase im hyperaemischen Schleimhautgewebe des Uterus zu verstehen suchte. Es erschien mir zunächst auffallend, dass das Wachstum des Eies, welches offenbar auf der Ausscheidung von Flüssigkeit in das Gewebe des Chorionmesoderms beruht, im Raumkampf gegen das so lebhaft wuchernde, gefässreiche Deciduagewebe ohne erkennbare Schwierigkeit erfolgt, ja dass man sogar den Eindruck eines Auseinanderweichens der Elemente der Nidationsgegend erhält. Für die Raumschaffung ist ja bei diesen Vorgängen unverkennbar die Zerstörung mütterlicher Elemente durch die fetalen Syncytien von grosser Bedeutung; aber der normale feste Uterus würde sicher trotzdem diesem Auswachsen sehr erhebliche Schwierigkeiten entgegensetzen. Demgemäss hilft es gewiss zum Verständnis, dass die Muscularis durch ihre starke Hyperaemie eine Drucksenkung im Uteruslumengebiet ermöglicht. Natürlich greifen auch hier sofort Umformungen der ganzen Uteruswand ein und vergrössern das Lumen des Hohlmuskels; aber während der ganzen Schwangerschaft bleibt doch die Hyperaemie bestehen, und es ist gewiss wichtig zu beachten, dass diese das Wachstum des Eies auch mechanisch fördert, nicht hemmt.

Ein ähnlicher Vorgang erleichtert, ja ermöglicht vielleicht die Entstehung der menstrualen Blutung. Die Hyperaemie der Uterusmuskulatur ist während der Menstruation so bedeutend, dass die ganze Wand „dicker und steifer wird, sodass ein geknickter Uterus sich während der Periode etwas aufrichtet“ (Schroeder, Handb. der Krankheiten der weibl. Geschlechtsorgane, VII. Aufl.). Die Flächen der normalen Uterusschleimhaut liegen glatt aufeinander; bei der Menstruation verdicken sie sich erheblich, aber ohne dass eine Kompression der Schleimhaut zustande kommt: im Gegenteil erscheint sie gelockert und gerade dadurch geeignet sowohl für das Eintreten der interglandulären Blutaustritte wie für die allgemeine Wucherung der Zellen. Der Raum für diese Lockerung kann nur durch eine Dehnung der Muskelwand entstehen; es liegt nahe, in der soeben beschriebenen Hyperaemie derselben unserem Prinzip gemäss die erste physikalische Ursache für eine solche zu suchen, welche die anatomischen Veränderungen der Uterusschleimhaut ermöglicht, nachdem sie selber als Effekt einer Reizung vom ovulierenden Ovarium her ausgelöst wurde.

In gleicher Weise möchte ich die sogen. endometritischen Wucherungen und Blutungen der Uterusschleimhaut bei chronisch hyperaemischem Uterus deuten; bei ihnen lässt sich bisweilen sehr evident nachweisen, dass das Lumen des Uterus, statt den normalen Schleimhautzusammenschluss zu zeigen, weit klafft, d. h. dass die günstigste Gelegenheit für die Wucherung der Schleimhaut und etwaige Blutaustritte gegeben ist. Natürlich muss auch bei diesen Vorgängen immer betont werden, dass in der Entspannung der Wandflächen der Höhle nur ein begünstigendes Moment liegt, nicht aber das ganze Symptomenbild mit allen Varianten hierin ausschliesslich seine Erklärung findet.

Mit dieser Reserve möchte ich auch auf die Erleichterung des Heranwachsens eines Ovarialfollikels zur prallen Blase

im Anschluss an die Hyperaemie der Tunica vasculosa hinweisen, oder auf die Erleichterung der Sekretion in Drüsenkanäle hinein, welche unter einer aktiven Hyperaemie praller gespannt werden (Sekretionsauslösung). Die Füllung der Schwellkörper bei der Erektion des Penis mag zur Erweiterung des Urethrallumens durch Ausgleich der Längsfalten beitragen; ein Klaffen der Harnröhre findet nach Hyrtl (Topogr. Anatomie II) bei der Erektion nicht statt.

Eine erfreuliche Bestätigung meiner experimentellen Erfahrung und der darauf gegründeten Schlüsse fand ich zufällig in einer Angabe E. Brücke's (Vorlesungen über Physiol. I. 1874 X. p. 176). Um zu beweisen, dass die „Selbststeuerung" des Herzens, d. h. die Füllung der Coronargefässe in der Diastole dem Zustand der Herzerweiterung in der Diastole parallel gehe, injizierte Brücke die Coronararterien durch eine in die Aorta eingebundene Röhre mit Wasser, während der Abfluss der Injektionsflüssigkeit in den rechten Vorhof möglichst frei gehalten wurde: eine Versuchsanordnung, welche der meinigen ausserordentlich ähnlich war. Unter diesen Umständen zeigte sich dann eine „Entfaltung" des Herzens, d. h. eine Erweiterung des Lumens, welche Brücke mit der diastolischen Ansaugung in Verbindung bringt. Donders (Physiol. des Menschen, I. 1859) hat den Versuch in der Form wiederholt, dass eine Kanüle in die Herzvene eingebunden wurde; sie zeigte, offenbar infolge der Dehnung der Herzwand während der Coronararterienfüllung, eine deutliche Druckerhöhung. Auch er erblickt mit Brücke in dieser Form der aktiven Dilatation des Ventrikels eine wichtige Ursache der diastolischen Ansaugung des Blutes, und vergleicht die Erscheinung mit der Ausdehnung der Darmzotten durch den Blutdruck, wodurch die Räume im Parenchym der Zotten unter einen negativen Druck kommen und der Uebertritt von Flüssigkeiten in diese Räume befördert wird.

II. Fibringerinnung und Thrombose.

In der letzten Zeit hat sich bezüglich der klinischen Bedeutung der Thrombose ein Streit entwickelt, der die Grundprobleme dieser so häufigen und so oft folgenschweren Erkrankung berührt. Durch Kretz[1]) ist in nachdrücklichster Form betont worden, dass die Thrombose regelmässig die Folge einer Infektion sei; diese Anschauung ist vor und nach der Kretz'schen Veröffentlichung von mehreren Seiten in gleichem Sinne vertreten worden. Besonders für gynaekologische Fälle, vor allem für die Fälle tötlicher Lungenembolie nach Thrombose im Anschluss an Geburten ist die Hypothese der infektiösen Aetiologie in den Vordergrund gerückt und man hat den Gedanken entwickelt, dass eine einmalige Infektion sogar eine „Thrombophilie", d. h. eine allgemeine Disposition zur Erkrankung an Thrombose veranlassen könne, welche sich darin äussere, dass jede nachfolgende Infektion in auffälligster Weise zu neuen mehr oder weniger ausgedehnten Thrombosen führe. Diesen Anschauungen, speziell der Kretz'schen, ist Aschoff[2]) entgegengetreten; gerade er war dazu besonders berufen, da wir ihm die genauere Ausführung der Recklinghausen'schen Wirbeltheorie des Thrombus verdanken. In dieser Theorie liegt der Schwerpunkt auf dem mechanischen Moment, indem sie die Thrombose durch eine mechanische Zusammentreibung der Blutplättchen im fliessenden Blutstrom durch Wirbel entstehen lässt; die entgegenstehende Anschauung, dass die Infektion die Ursache der Thrombose sei, würde, wenn auch bisher eine genauere Analyse der supponierten Vorgänge nicht gegeben worden ist, auf chemische Beeinflussung der Gerinnungsfaktoren zurückzuführen sein.

Die Blutplättchen, von denen ich eine nach einem Präparate Deetjen's angefertigte Abbildung herumgebe, sind nach den neuesten Angaben dieses Forschers zellige Bildungen

1) Med. Klinik V. 41, 1909.
2) Ibidem.

mit oeweglichem, wanderfähigem Protoplasma und einem Kern von oft sehr respektabler Grösse; die Gesamtgrösse der Plättchen kann an diejenige der übrigen zellulären Formelemente des Blutes heranreichen. Erst Deetjen ist es gelungen, die Schwierigkeiten der histologischen Darstellung, welche auf der eminenten Neigung der Plättchen zum Zerfall beruhen, erfolgreich zu überwinden und damit die Anschauung, dass diese Gebilde nur formlose Abschnürungs- und Zerfallsprodukte der Blutkörperchen seien, gründlich zu erschüttern.

Die wichtigste Eigenschaft dieser Plättchen ist ihre Fähigkeit zur Agglutination, welche etwa in gleicher Leichtigkeit und Geschwindigkeit erfolgt, wie die Agglutination von Bakterien unter der Einwirkung spezifischer Agglutinine. Von dem hierbei ablaufenden physikalisch-chemischen Vorgang, welcher in das Gebiet der Colloidalchemie gehört, kann man sich schwer eine Vorstellung machen; um so einfacher ist das histologische Bild, welches in jedem beliebigen Blutstropfen, der etwa als „hängender Tropfen“ in der feuchten Kammer (hohlgeschliffener Objektträger) beobachtet wird, leicht zu sehen ist. Es besteht darin, dass die diffus im Blut verteilten Plättchen, wie durch eine unsichtbare Kraft getrieben, sich zu kleinen Haufen vereinigen und in diesem Zustand sofort den Eindruck zerfallener Gebilde machen. Merkwürdiger Weise bleiben einzelne Exemplare von dieser Agglutination dauernd frei, und liegen auch bei lange fortgesetzter Beobachtung, anscheinend völlig unbeeinflusst und unter guter Erhaltung ihrer Form in geringer oder weiterer Entfernung von den Häufchen. In dieser Beziehung, ebenso wie bezüglich der individuellen Unterschiede im Grade der Agglutination, liegen für die Plättchen offenbar ähnliche Verhältnisse vor, wie für die roten Blutkörperchen, deren eigenartige Agglutinationsform unter dem Namen der „Geldrollenbildung“ seit langen Jahren allgemein bekannt ist.

Wie weit die agglutinierenden Kräfte physikalischer, wie weit chemischer Natur sind, lässt sich bei einem Vorgang, der zu den kompliziertesten der doppelgesichtigen physikalischen Chemie gehört, nicht sagen. Sicher würde es nicht ausreichen, rein mechanische Momente als die Ursache der spontanen Agglutination zu bezeichnen.

Damit aber ist nicht gesagt, dass etwa rein mechanische Momente eine Agglutination überhaupt nicht veranlassen könnten. Auf diesen Punkt aber kommt es bei der Erörterung jenes Streites über die Ursache der Thrombose an. Denn die Anfänge des echten Thrombus werden immer durch eine Agglutination der Blutplättchen gegeben. Mit vollem Rechte hat Aschoff in Verfolgung der Recklinghausenschen Auffassung auf die feineren Strukturen des Thrombus, den von ihm so genannten Korallenstockbau hingewiesen, welche eine plastische Wiedergabe stehender Wellen und Wirbel unverkennbar darstellen.

Dass bestimmte pathologische Strömungsverhältnisse ganz unabhängig von chemischen Einflüssen, speziell von Infektionen, Blutplättchenagglutinationen in Kugelform mitten im fliessenden Blut erzeugen können, erlaube ich mir hier an Abbildungen von Thromben, welche im Laufe weniger Minuten durch Einhängen eines aufgefaserten Seidenfadens in die V.cruralis eines Hundes gewonnen wurden, zu demonstrieren. Diese allerjüngsten Thromben liegen völlig frei im Blut; sie sind so gross und rund wie etwa ein Nierenglomerulus und bestehen nur aus agglutinierten Plättchen und einem schmalen Saum von Leukocyten. Ihre Entstehung kann nur aus einer Wirbelströmung im Anschluss an die Stromstörung erklärt werden. Man muss sich vorstellen, dass die gewöhnliche gleichmässige Verteilung der strömenden Blutzellen durch die zentrifugale Kraft eines Wirbels in dem Sinne geändert wird, dass das Zentrum die leichten Plättchen aufnimmt, während die schwereren Blutkörperchen wie in einer Zentrifuge an den Wirbelrand getrieben werden. Dabei muss

natürlich dahingestellt bleiben, wie weit etwa, nachdem die ersten Blutplättchen durch die Wirbelkraft zusammen gerissen worden sind, etwa auch von ihnen aus, durch chemische Einflüsse, vielleicht durch ihren jähen Zerfall, weitere Plättchen herangezogen werden, wodurch dann der Plättchenhaufen an Grösse zunehmen würde; jedenfalls aber scheint mir die Tatsache, dass an ganz bestimmter Stelle im fliessenden Blut corpusculäre Elemente festgehalten werden, anstatt mit dem Gesamtstrom weiter zu fliessen, nur durch die rein mechanische und an diesen Stellen physikalisch notwendige Ausbildung von stehenden Wirbeln verstanden werden zu können. Deshalb muss mit allem Nachdruck auf die ganz allgemein vorhandene Möglichkeit der Thrombenbildung im gesunden menschlichen Organismus im Anschluss an mechanische Stromveränderungen, mögen sie nun durch gröbere Eingriffe, wie z. B. eine Unterbindung, oder durch primäre Abschwächung bestimmter Strömungen an Konfluenzstellen veranlasst sein, hingewiesen werden.

Auch die Ansammlung der Leukocyten, welche ganz regelmässig der Peripherie der kugel- oder korallenstockförmigen Plättchenthromben sich anschliessen, wird wohl gegenwärtig vielfach für den Ausdruck einer mechanischen Ausscheidung durch die Kraft des Wirbels angesehen. In dieser Beziehung möchte ich indessen darauf hinweisen, dass eine chemotaktische Anlockung der Leukocyten mindestens ebensogut annehmbar ist. Mir persönlich ist diese Anschauung aus Untersuchungen der Leichenspeckgerinnsel sehr wahrscheinlich geworden. Diese enthalten sehr häufig typische Plättchenagglomerate, um welche herum Leukocyten ringförmig in Menge gelagert sind: diese Lagerung kann nur aus einer Wanderung der überlebenden Leukocyten im stagnierenden Leichenblute nach den chemotaktisch wirkenden Centren hin verstanden werden. Sind die Leukocyten angelagert, so gehen sie sogar unter der chemischen Einwirkung der Centra zu Grunde: sehr deutlich kann man bisweilen, wie die

Zeichnung zeigt, den Kernzerfall der dem Plättchenhaufen zunächst liegenden Leukocyten im Gegensatz zu den intakten Kernen der ferner liegenden beobachten. Genau die gleichen Bilder zeigen die allerjüngsten Thromben; die Art der Leukocytenanlagerung deutet auf Wanderbewegungen hin, welche allerdings wegen der offenbar geradezu undurchdringlichen Beschaffenheit der jungen Plättchenthromben nicht bis zum Eindringen der Zellen in deren Centrum gedeihen können. Und in etwas älteren Thromben zeigt sich bei genauer Beobachtung deutlich vielfach ein Kernzerfall der an die Plättchenmasse anstossenden Leukocyten. Aus dieser Tatsache schliesse ich auf das Vorhandensein chemischer Emanationen der Plättchenthromben, welche die Vervollständigung derselben zu dem Bilde der „weissen Thromben“ durch Leukocytenanlagerung begründen.

Der „fertige“ Thrombus enthält ausser Plättchen und Leukocyten noch Fibrin. Gerade das letztere gibt uns nun wieder Gelegenheit, die Einflüsse mechanischer Momente direkt ablesen zu können.

Die Fibringerinnung, auf deren komplizierte chemische Grundvorgänge ich hier nicht eingehen will, besteht in der Ueberführung flüssigen Fibrinogens in feste Fäden, wiederum eine Erscheinung aus der rätselvollen Welt der kolloidalen Substanzen, Diese Ueberführung geschieht bisweilen in typisch krystallinischer Form (Abb.), namentlich, wie mir scheint, in bestimmten Organen, z. B. im Gehirnblut oder in dem entzündlichen Exsudat der Lunge (Zenker) — vielleicht können Einflüsse des Myelins beider Organe eine Rolle dabei spielen. Viel häufiger bildet das Fibrin ziemlich regellose Netze, an denen nur die Existenz bestimmter Knotenpunkte, von denen dichte Fibrinsterne nach allen Richtungen ausgehen, auffällt. Die Centra dieser Knotenpunkte sind meist Blutplättchen, einzelne oder mehrere; seltener Leukocyten, nie Erythrocyten.

Es ist nun von besonderem Interesse, die Beziehungen der Fibringerinnung zu bestimmten physikalischen Begleiterscheinungen in der gerinnenden Flüssigkeit zu untersuchen. Ich habe das an lebendem Tier- und Menschenblut, sowie am Blut frischer Leichen in der Weise ausgeführt, dass ich die Untersuchung am sehr schnell hergestellten hängenden Tropfen im luftdicht verschlossenen Hohlraum des Objektträgers vornahm. Hierbei gelang es mir, zwei Tatsachen an dem unter meinen Augen gerinnenden Blut zu erkennen. Erstens sieht man bisweilen, dass Bewegungen der Flüssigkeit in Form einseitig gerichteter schwacher Strömungen, welche zufällig in dem Augenblick der Gerinnung im Tropfen vorhanden sind (Bewegungen der Erythrocyten machen sie deutlich erkennbar), die Form und Richtung der Fibrinfäden bestimmen können, indem diese sich statt zu Sternen zu parallel gerichteten Fasersystemen anordnen. Diese Beobachtung ist selten und schwer zu machen; ich habe mich aber doch von ihrer Richtigkeit überzeugt und freue mich um so mehr, in einer Angabe Loebs über den Modus der Krebsblutgerinnung eine Analogie gefunden zu haben. Zweitens aber tritt eine andere Erscheinung ganz regelmässig hervor, nämlich der Unterschied der Fibrinnetze im Centrum und in der Peripherie der hängenden Tropfen. Im ersteren finden sich dicke starre Fasersysteme; am Rande unendlich feine, sehr dichte Netze, welche aber keine einzige derbere Fibrinfaser einschliessen. Es ist unverkennbar, dass die stärkere Capillarspannung, welche dem sich immer mehr verdünnenden Rand des Tröpfchens zukommt, einen Flächendruck ausübt, welche diese Zartheit der Fibringerinnung veranlasst. Die Differenzen bleiben anhaltend unverändert, selbst wenn der gleiche Tropfen viele Tage hintereinander immer wieder untersucht wird; ein Dickenwachstum der einmal gebildeten Fasern durch Apposition erfolgt nicht.[1])

1) Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch noch der merkwürdigen, m. W. noch nicht hervorgehobenen Tatsache gedenken, dass die Ränder

Aus den genannten beiden Erscheinungen scheint mir ganz klar hervorzugehen, dass die Ueberführung des Fibrinogens aus dem colloidalen Zustand in den festen unter dem massgebenden Einfluss mechanischer Druck- und Zugverhältnisse allerlei Variationen bezüglich der Dicke und Richtung der Fasern erfahren kann. Diese Tatsachen erklären die Formen der Fibringerinnung in Korallenstockthromben. Ist für diese schon die Lokalisation, nämlich am Rande, nie innerhalb der Plättchenstöcke, charakteristisch, so ist die Guirlandenform der Fasern, d. h. die parallel geschwungenen Faserbündel, welche von Pol zu Pol der Plättchensäulen ziehen, mindestens ebenso bezeichnend; sie bedeutet, dass das Fibrin in der Richtung bestimmter Strömungen erstarrte. Aus der Richtung der Fasern dürfen wir, der obigen Beobachtung gemäss, auf die Richtung der Blutströmung im Augenblick der Gerinnung zurückschliessen und gewinnen daraus den festen Beweis für die Anschauung, dass diese Ströme im Augenblick der Entstehung des Thrombus an der fraglichen Stelle wirbel- und wellenförmig gewesen waren. Die feinere Struktur der Thromben, über deren Bau diese Abbildungen eine Vorstellung geben, lässt in einfachen Weigert'schen Fibrinpräparaten derartige Stromformen unmittelbar erkennen.

Also auch für die Fibringerinnung wie für die Plättchenagglutination ist die mechanische Bedeutung der Blutströmung bei der Entstehung eines Thrombus unverkennbar. Auch hier

---

eines Fibringerinnsels, z. B. am hängenden Tropfen, oder im Reagenzglas oder in einem Leichengerinnsel immer in geschlossenen Bogensystemen abschliessen, nie freie Fibrinausläufer aufweisen. In dieser Erscheinung liegt eine fundamentale Differenz gegenüber Krystallbildungen, welche in Form freier Kanten und Spitzen auswachsen. Für das Verständnis der Fibrinformen scheint mir diese Eigentümlichkeit von grosser Bedeutung zu sein; sie hängt natürlich unmittelbar mit den Zuständen des colloidalen Fibrinogens zusammen und lässt Vermutungen über die Natur des Gerinnungsvorganges als einer Kontraktion unzerreissbarer Tropfensysteme zu. Genaueres hierüber würde an dieser Stelle zu weit führen.

dürfen wir freilich die Einschränkung nicht vergessen, dass das einmal lokal gebildete Fibrinferment gerinnungsfördernd auf das anstossende Blut einwirkt. Die Entwicklung der roten Stagnationsthromben im Anschluss an den weissen Thrombus gibt davon so deutlich Zeugnis wie die Anlagerung ausgedehnter postmortaler Gerinnsel etwa an einen fermentreichen Lungenembolus u. ä. Erscheinungen, welche jedem Obducenten geläufig sind. Demgemäss kann auch immer die Anschauung verteidigt werden, dass bestimmte Personen tatsächlich eine stärkere Neigung zur Fibringerinnung besitzen, eine „Thrombophilie“ auf Grund eines chemischen Zustandes (Reichtum an Blutplättchenagglutinin oder an Fibrinferment) aufweisen können. Als Beispiel eines solchen Vorkommens möchte ich eines kürzlich secierten Falles gedenken, bei welchem ich, im Anschluss an eine chronische Nephritis, bei einer alten Dame eine Thrombose geradezu über den ganzen Körper ausgebreitet fand: es war, als ob das ganze Blut der Patientin gradatim schon bei Lebzeiten erstarrt gewesen wäre. Ich halte es auch für durchaus möglich, dass infektiöse Prozesse diese Gerinnbarkeit bisweilen wesentlich steigern können. Sehen wir doch z. B. bei Pneumonieleichen so häufig eine überraschend vollkommene Erstarrung des Leichenblutes, welche auf einen Fermentüberschuss schon im Augenblick des Todes, bezw. bereits vor dem Tode, schliessen lässt.

Aber der weitere Satz, dass weitaus die meisten Thromben auf Infektionen beruhen, so wie Kretz es ausgesprochen hat, ist m. E. durch diese Zugeständnisse noch bei weitem nicht gerechtfertigt. Ich bin von der Richtigkeit seiner nachdrücklichen, auf speziell darauf gerichteten Beobachtungen beruhenden Angabe, dass er keinen Fall von Thrombose ohne Infektion unter tausenden von Fällen gefunden habe, überzeugt. Aber durch das Zusammentreffen beider Zustände ist der Kausalnexus nicht erwiesen. Infektionen verschiedenster Art sind ein so regelmässiger Befund in Leichen

verschiedenster Gattung, dass ich mich fast anheischig machen möchte, denselben Satz, den Kretz für die Thrombose ausgesprochen hat, auf alle anderen Krankheiten auszudehnen, auf Tumoren, Apoplexieen u. s. w. In seiner Allgemeinheit scheint er mir nicht beweiskräftig im Sinne der Kretz'schen Anschauung und deshalb auch nicht geeignet, den weitgehenden klinischen Folgerungeu als Stütze zu dienen. Die Möglichkeit der Beeinflussung einer Thrombusentstehung durch die Infektion, etwa durch Erleichterung einer Plättchenagglutination durch besondere Agglutinine, oder Erleichterung der Fibringerinnung durch Verstärkung der Fermentbildung — sei es direkt durch Fermentbildung seitens der Bakterien, sei es indirekt durch Steigerung der fermentliefernden Faktoren der Gewebe und des Blutes — diese Möglichkeit muss zugegeben worden. Aber an der Tatsache, dass die mechanischen Momente die Thrombusbildung einleiten und fördern, kann dadurch nichts geändert werden; und gibt man die letztere überhaupt zu, so muss auch die Möglichkeit einer Thrombose ohne jede Infektion, einfach aus den gerinnungsfördernden Eigenschaften des normalen Blutes heraus, anerkannt werden. Die Aufgabe der Zukunft wird es sein, den Grad der Veränderung dieser Eigenschaften durch die Anwesenheit von Parasiten oder deren Produkten im Einzelnen zu studieren und aus solchen Erfahrungen allmählich ein sicheres Urteil über die Beziehungen der Infektion und Thrombose zu gewinnen.

---

## III. Ueber Krystallisationsvorgänge am Haemoglobin des Hundeblutes.

Bringt man ein ganz kleines Tröpfchen Hundeblut unmittelbar aus der spritzenden Ader mit der sterilen Platinnadel auf ein sterilisiertes Deckgläschen und überträgt es sofort in die hohle Kammer eines hohlgeschliffenen Objekt-

trägers, unter sorgfältigem Abschluss gegen die Verdunstung, so lassen sich am Rande des Präparates bei Immersionsuntersuchung sofort eine Reihe merkwürdiger Formveränderungen konstatieren. Schon 2—3 Minuten nach dem Augenblick der Blutentnahme sind bisweilen zahlreiche Erythrocyten in ihrem Inneren in einen Krystallbrei zerfallen, der aus zahlreichen, meist in beliebigen Richtungen gruppenförmig angeordneten stumpfrhombischen Kryställchen besteht. Dieselben sind so fein, dass die Zelle den Eindruck körniger Degeneration macht; selbst feine „Stechapfelformen“ erscheinen grobzackiger. Der Vorgang erklärt sich ohne weiteres aus der am dünnen Rande des Präparates im Augenblick des Ausstreichens sich entwickelnden Verdunstung.

Das Wesentliche desselben besteht darin, dass die einzelnen Krystallgruppen, jede einem einzelnen Erythrocyten entsprechend, dauernd bestehen bleiben; die Kryställchen fallen, wenigstens anfangs, nicht auseinander, sie sind durch das Plasma des Blutkörperchens zu einem Ganzen vereinigt. Diese Differenz des farblosen Plasmas und des krystallisierenden Haemoglobins lässt sich nun weiterhin deutlich an solchen Exemplaren erkennen, welche statt einer grossen Zahl nur einen oder wenige Krystalle in ihrem Inneren entwickeln. Dieselben treten als scharfglänzende, schön ausgebildete Rhomboeder hervor und liegen in einer farblosen Hülle, welche bisweilen wie ein zarter schlaffer Mantel in der deutlichen Kontur des normalen Erythrocyten sie umgibt. Die Lage der Krystalle im Zellinnern ist beliebig; wachsen sie heran, so buchten ihre Kanten den Zellenmantel bisweilen etwas schärfer aus.

Der farblose Zellmantel ist auch an Erythrocyten ohne Krystalle meist deutlich zu erkennen. Die minimalen Spannungswirkungen, welche am äussersten Randsaum des sich verdünnenden Tröpfchens die Blutkörperchen abplatten, führen sehr oft zu einer birnförmigen oder spindelförmigen Umgestaltung der Scheibenform des Erythrocyten; hierbei

ist ein zarter, aber oft sehr langer farbloser Faden am spitz ausgezogenen Ende der Zelle deutlich nachweisbar, welcher sich einerseits in die Hülle des ganzen Körperchens fortsetzt, andererseits weit in die anstossende Flüssigkeit vordringt; und nicht selten zeigen sich zwei Blutkörperchen durch solche lang ausgezogene Fädchen — natürlich ist jede Verwechslung mit Fibrinfädchen ausgeschlossen — verbunden.

Diese Fäden und Hüllen entsprechen der von Albrecht angenommenen Myelinmembran der Erythrocyten; sie sind identisch mit der Substanz, welche die eigentümliche Stechapfelform der Erythrocyten bei geringen Graden der osmotischen Austrocknung veranlassen. Denn man kann gerade am Hundeblut die Entwicklung dieser Formen besonders leicht erkennen und feststellen, dass die Zacken der Stechäpfel in lange feine gerade Ausläufer übergehen, welche jenen Fäden vollständig gleichen. Untersucht man tagelang dasselbe Präparat an gleicher Stelle, so ist weiterhin leicht nachweisbar, dass diese farblosen Ausläufer fortwährend feinste Körnchen abschnüren, welche nunmehr frei in der ausströmenden Flüssigkeit herumschwimmen. Diese zeichnen sich anfangs durch ihren intensiven Glanz und eine gewisse auffällig gesteigerte Molecularbewegung aus; sie sind offenbar identisch mit den feinen „Blutstäubchen“ jedes frischen Menschen- und Tierblutes, welche die gleichen Eigenschaften aufweisen. Untersucht man diese Körnchen dann fortlaufend weiter, so zeigen sie sich nach einiger Zeit zu feinsten Myelinringen und -bläschen umgewandelt, deren Form so typisch ist, dass an ihrer Identität mit anderen Myelinsubstanzen, etwa aus Lungenalveolarepithelien oder Nervensubstanz entstandenen, kein Zweifel sein kann.

Aus den vorstehenden Beobachtungen geht also hervor, dass die Haemoglobinkrystalle im Inneren der Blutkörperchen durch eine Substanz zusammengehalten werden können, welche mindestens stark myelinhaltig ist; wie weit noch Eiweisskörper daran partizipieren, ist morphologisch nicht zu

erkennen. Die Vereinigung mit diesem farblosen Stroma gibt nun aber weiterhin der Krystallisation der Erythrocyten noch andere typische Ausgestaltungen. Man kann zunächst die vollkommene Umwandlung eines einzelnen Erythrocyten in einen Krystall direkt beobachten. Das scheibenförmige Körperchen wird immer scharfkantiger, eckiger, und zeigt zuletzt, unter völliger Beibehaltung seiner Gesamtgrösse und Farbe, genau die Form eines Haemoglobinkrystalls. In dieser Form kann es sich dauernd erhalten, ohne dass jemals besondere Membranen o. ä. an ihm zu erkennen sind. Die Krystallmasse des Haemoglobins hat also den farblosen Stromabestandteil inkorporiert, eine Tatsache, welche mit den Ergebnissen der physiologischen Chemiker insofern übereinstimmt, als diese konstatiert haben, dass die erste Krystallisation des Haemoglobins kein reines Produkt zu liefern, sondern mit allerlei Verunreinigungen behaftet zu sein pflegt, welche erst durch mehrmaliges Umkrystallisieren entfernt werden können.

Die Beziehungen der Krystallform zu den übrigen Blutkörperbestandteilen geht dann weiterhin sehr oft daraus klar hervor, dass die Krystalle unvollkommen werden: entweder zeigt das Körperchen nur an einer Seite eine scharfe Krystallkante, oder der Krystall zeigt irgendwo Ausbuchtungen, Krümmungen, unregelmässige Winkel, welche ohne weiteres an die vorherige Scheibenform der Körperchen erinnern. Auch in diesem Zustand können die Körperchen sich tagelang erhalten, falls eine Eintrocknung des Präparates sorgfältig vermieden ist. Oft aber schreitet die Krystallisation noch rapide vorwärts; sind durch irgend eine Einwirkung eine Anzahl von Blutkörperchen zerstört worden, sodass ihr Hämoglobin frei ins Serum gelangte, so wachsen die Krystalle am Rande des Präparates unter dem Auge des Beobachters; es gelingt bisweilen, im Laufe weniger Minuten bedeutende Verlängerungen mit Sicherheit zu erkennen. Diese Formen sind dann krystallographisch rein.

Von ganz besonderem Interesse ist nun aber noch eine Erscheinung, die ich allerdings nur selten, aber doch mit voller Sicherheit beobachten konnte. Wo der hängende Tropfen etwas dicker wird, finden Blutplättchenagglutinationen statt. Ein solches Agglomerat kann als richtendes Centrum für die Erythrocyten auftreten. Man sieht, wie die anstossenden roten Blutkörperchen, welche frei in dem Serum schwimmen, sich strahlenförmig um jenes Centrum herum legen und nun allmählich in Krystallformationen übergehen, deren Längsaxe der Strahlenrichtung entspricht. Dabei können die Körperchen noch völlig frei nebeneinander liegen. Allmählich verschmelzen sie miteinander; nach Tagen zeigt die betr. Stelle Krystallbündel von bedeutender Ausdehnung, welche den Charakter der Hämoglobinstrahlen deutlich besitzen. Aber überall zeigen diese Büschel Rundungen, Buchten, Höcker, welche auf die Konfluenz unvollkommen auskrystallisierter Erythrocyten deutlich hinweisen. Neben dem richtenden Einfluss des Blutplättchenhaufens, der um so überraschender ist, als die Krystallbildung an anderen Stellen keine besondere Abhängigkeit bezüglich der Richtung ihrer Strahlen erkennen lässt, kommt hier also die hemmende Einwirkung des den krystallisierenden Körperchen anhaftenden, die Krystallisation störenden Stromas zum morphologischen Ausdruck. In diesem Zustand halten sich die Krystallbüschel wochenlang unverändert.

Worauf der richtende Einfluss der Blutplättchenhaufen beruht, habe ich vergebens zu erkennen versucht. Sicher ist von einer Beziehung zu einer Fibrinsternbildung keine Rede, da Fibrin dabei völlig fehlt. Aber es ist doch auch charakteristisch, dass es eben nur Blutplättchen sind, welche den richtenden Einfluss ausüben; andere morphologische Objekte gleicher Grösse dienen nicht als Ansatzpunkte für die Strahlenbildungen und bringen die Körperchen nicht in bestimmte Anordnungen. Es muss ein bestimmter chemisch-physikalischer Einfluss der Plättchensubstanz sein, der der-

selben spezifisch zukommt. In dieser Auffassung liegt die Analogie zu der die Fibringerinnung in Sternform massgebend bestimmenden Kraft der Blutplättchen; hier wie dort handelt es sich um die Erscheinung, dass von einem bestimmten Kraftcentrum herum die anstossenden leicht- oder zähflüssigen Substanzen morphologisch beeinflusst und ihre Verdichtungsvorgänge zu Fäden oder mehr oder weniger vollkommenen Krystallen in ihrer Richtung bestimmt werden.

Nachdem ich die vorstehenden Untersuchungen abgeschlossen hatte, fand ich, dass die Kenntnis der Tatsache der Totalumwandlung der Erythrocyten in Krystalle so alt wie die Entdeckung der Haemoglobinkrystalle selbst ist: in seiner ersten Angabe über die letzteren[1]) hat Funke bereits 1851 auch jener Erscheinung gedacht, die er im Milzvenenblut der Pferde, später im Fischblut konstatieren konnte. Bestätigungen seiner Angaben sind alsbald erfolgt.[2]) Seitdem scheint dieselbe aber einigermassen vergessen worden zu sein, so dass ich, auch namentlich im krystallographischen Interesse, heute noch einmal an sie erinnern zu dürfen geglaubt habe.

Ich bemerke noch, dass ich im Vorstehenden die Bezeichnung Haemoglobin ganz allgemein für den krystallisierenden Blutfarbstoff benutzt habe; auf die Frage, wie weit die beschriebenen Krystalle dem reinen Oxyhaemoglobin oder dem Arterin (Phlebin) Hoppe-Seyler's d. h. also einer chemischen Verbindung von Haemoglobin mit dem Stroma, entsprechen, will ich hier nicht eingehen.

---

1) Henle und Pfeufer's Zeitschr. f. rat. Mediz. N. F. I 1851, II 1852.
2) Kunde, ibid. II 1852.

Zum Schluss hielt Herr F. A. Schulze den Vortrag

## Zur Metalloptik.

Die Tatsache, dass die von Hagen und Rubens [1]) experimentell gefundene Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit $\lambda$, der Schwingungsdauer $\tau$ und dem Reflexionsvermögen $R$ $(1-R)\sqrt{\lambda\tau} = 2$ [2]), die aus der Maxwell'schen Theorie folgt [3]), erst für Wellen von etwa $4\,\mu$ Länge an gilt, also erst beträchtlich im Ultraroten, wird meist, und mit Recht, in erster Linie darauf zurückgeführt, dass erst für Wellen von so grosser Wellenlänge die Eigenschwingungen der Moleküle, also das Vorhandensein der gebundenen Elektronen, das optische Verhalten der Metalle nicht mehr beeinflussen.

Es ist hierbei wesentlich, dass man die Verschiebungsströme gegenüber den Leitungsströmen vernachlässigen kann, was zu der Bedingung führt: $D$ klein gegen $2\lambda\tau$, wo $D$ die Dielektricitätskonstante bedeutet. [4]) Da $D$ für Metalle nicht bekannt ist, so lässt sich nur sagen, dass im allgemeinen, mässige Werte von $D$ vorausgesetzt, diese Bedingung für nicht besonders gut leitende Metalle erst erfüllt ist für weit im Ultraroten liegende Strahlen. Je besser die Leitfähigkeit ist, desto näher wird die Bedingung noch für mehr nach dem sichtbaren Teil des Spektrums liegende ultrarote Strahlen erfüllt sein.

---

1) E. Hagen und H. Rubens, Ann. d. Phys. II p. 873. 1903.

2) Siehe hierzu F. Richarz, Anfangsgründe der Maxwell'schen Theorie, Leipzig 1909. p. 241.

3) P. Drude, Physik des Aethers, p. 574, Formel (66), 1894; Verh. d. Deutsch. Physikal. Ges. 5. p. 142. 1903. M. Planck, Sitz.-Ber. d. Ak. d. Wiss. zu Berlin, p. 278. 1903.

4) Siehe F. Richarz, l. c. p. 273. In der Bezeichnungsweise habe ich mich an die dort benutzte angeschlossen.

Man könnte nun auch noch an einen zweiten Umstand denken, der ebenfalls bewirken könnte, dass die Hagen-Rubens'sche Beziehung erst für Wellen gültig ist, deren Länge einen bestimmten Wert übersteigt und der in dem Verhalten der freien *Leitungs*elektronen in Metallen gegenüber sehr schnell wechselnden elektrischen Kräften liegt.

Es ist nämlich für das Bestehen der Hagen-Rubens'schen Beziehung auch erforderlich, dass der Leitungsstrom das Ohmsche Gesetz befolgt, dass also die Stromdichte auch bei den schnell wechselnden elektrischen Kräften der Wellen mit der elektrischen Kraft $\mathfrak{E}$ verknüpft ist durch die Beziehung $i = \lambda . \mathfrak{E}$, und zwar mit demselben Wert der elektrischen Leitfähigkeit $\lambda$, der für den Fall des stationären Stromes bei konstanter elektromotorischer Kraft gilt.[1])

Geht man nun auf das Wesen der elektrischen Leitfähigkeit nach der Elektronentheorie zurück, wie sie von E. Riecke[2]) und P. Drude[3]) entwickelt ist, so lässt sich leicht zunächst qualitativ angeben, bis zu welcher Frequenz eines elektrischen Wechselfeldes die eben genannte Bedingung noch gelten wird. Bei der Berechnung der Leitfähigkeit $\lambda$, wie sie z. B. von P. Drude, l. c. p. 575, gegeben wird, wird berechnet, welchen Weg ein Elektron in der Zeit zwischen zwei Zusammenstössen, die es infolge seiner unregelmässigen Wärmebewegung mit den Molekülen des Metalles erfährt, unter dem Einfluss einer als während jener Zeit konstant angenommenen elektrischen Kraft $X$ erfährt.

Diese Kraft kann aber bei einem elektrischen Wechselfeld innerhalb der Zeit zwischen zwei Zusammenstössen nur als konstant angenommen werden, wenn *die Zeit Z zwischen zwei Zusammenstössen klein ist gegenüber der Schwingungsdauer* $\tau$.[4])

1) Vgl. hierzu auch besonders F. Richarz l. c. p. 235 und 244.

2) E. Riecke, Wied. Ann. **66**. p. 353 und p. 545. 1898.

3) P. Drude, Ann. d. Physik. **1**. p. 566. 1900.

4) Anm. bei der Correktur. Wie ich inzwischen sehe, ist dieser Gedanke bereits von M. Reinganum in Ann. d. Ph. **16**, p. 958, 1905, in

Man braucht sich z. B. nur den Fall $Z = \tau$ vorzustellen Es würde dann während der ersten Halbperiode das Elektron im Sinne der Kraft $\mathfrak{E}$ in Bewegung gesetzt, also der Strom wie es sein muss gleichsinnig mit der Kraft sein, dagegen würde die Bewegung des Elektrons in der zweiten Halbperiode infolge der Trägheit noch in dem ersten Sinn, wenn auch allmählich verzögert, weitergehen, sodass $i$ und $\mathfrak{E}$ sogar entgegengesetztes Vorzeichen bekommen. Man wird wohl etwa annehmen müssen, dass $\tau$ mindestens 10 mal grösser ist als die Zeit $Z$, damit einigermassen der Ansatz $i = \lambda \mathfrak{E}$ richtig bleibt.

Diese Zeit Z zwischen zwei Zusammenstössen lässt sich nun berechnen, wenn wir annehmen, dass nur eine Art Elektronen, negative, mit den aus den Kathodenstrahlen bekannten Eigenschaften im Metall vorhanden sind.

Nach den Vorstellungen der Elektronentheorie sollen diese Elektronen zwischen den Metallmolekülen frei umherfliegen mit der aus der kinetischen Gastheorie berechneten Geschwindigkeit, Da die Masse der Elektronen gegenüber derjenigen der Metallmoleküle ausserordentlich klein ist, und ausserdem ebenso der Radius der Elektronen sehr klein ist gegenüber demjenigen $\sigma$ der Wirkungssphäre eines Metallmoleküls, so können wir so rechnen, als ob ein ausdehnungsloser Punkt zwischen ruhenden Kugeln vom Radius $\sigma$ mit der mittleren Geschwindigkeit $\omega$ sich bewegt. Ist noch $\mathfrak{N}$ die Anzahl der Moleküle im Kubikcentimeter, so gilt $Z = \frac{1}{\omega \pi \sigma^2 \mathfrak{N}}$

Ist nun $d$ die Dichte des Metalls, $A$ das Atomgewicht, $a$ die Anzahl der Atome im Molekül, $H$ das Gewicht eines Atoms Wasserstoff in gr, so ist $\mathfrak{N} = \frac{1}{H} \frac{1}{a} \frac{d}{A}$ also $Z =$

---

einer kurzen Bemerkung ausgesprochen und zu ähnlichen Schlüssen verwertet. $Z$ ist dort nicht berechnet.

$\frac{A}{d}\frac{aH}{\pi\sigma^2\omega} = \frac{vaH}{\pi\sigma^2\omega}$, wo $v$ das Atomvolumen. Ueber die Anzahl der Atome im Moleküle ist bei Metallen in festem Zustande nichts bekannt. Doch wird man wohl meist $a = 1$ setzen dürfen, da z. B. für eine grosse Zahl von Metallen im Dampfzustand, wie in festen Lösungen Einatomigkeit nachgewiesen ist.[1]) (Auch der Mangel an allotropen Modifikationen bei Metallen, im Gegensatz zu deren häufigem Vorkommen bei den Metalloiden spricht für Einatomigkeit der Metalle im festen Zustand; hierauf hat Herr Prof. F. Richarz aufmerksam gemacht. Ztschr. f. anorg. Chemie, **58.** p. 356; **59.** p. 146. 1908.) Die mittlere Geschwindigkeit des Elektrons ergiebt sich nach Drude l. c. p. 573, als $\omega = \sqrt{\frac{2\alpha T}{m}}$ Die Naturkonstante $\alpha$ setzen wir $\alpha = 20 \cdot 10^{-17}$[2]). Ferner ist $m = 8{,}7 \cdot 10^{-28}$ gr.[3]). Bei $0^0$ C., $T = 273$, wird $\omega = 11{,}2 \cdot 10^6 \frac{cm}{sec} \cong 10^7 \frac{cm}{sec}$. Ferner sei gesetzt $\sigma = 10^{-8}$ $cm$[4]). Schliesslich ist $H = 1{,}6 \cdot 10^{-24}$ gr.[5])

Es wird also

$$Z = va \frac{1{,}6 \cdot 10^{-24}}{\pi \cdot 10^7 \cdot 10^{-16}} sec \simeq 0{,}5 \cdot 10^{-15} va\, sec$$

Nehmen wir, um die Grössenordnung zu erhalten, Einatomigkeit an, $a = 1$, und ferner für das Atomvolumen $v$,

---

1) Vgl. W. Wenz. Inaug. Dis. Marburg 1909.

2) M. Planck, Vorles. über die Theorie der Wärmestrahlung. Leipzig 1906, p. 162.

3) F. Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik 11. Aufl. p. 727.

4) Vgl. z. B. O. E. Meyer, Kinetische Gastheorie, p. 334.

5) M. Planck, l. c.

das bei den verschiedenen Metallen zwischen 7 und 21 liegt, den Wert 10, so kommt $Z \cong 5 \cdot 10^{-15}$ *sec.*

Nun ist die Schwingungsdauer derjenigen Welle, deren Länge in Luft 10 $\mu$ ist, und welche etwa die Grenze darstellt für die Gültigkeit der Hagen Rubenschen Beziehung, $\tau \sim 3 \cdot 10^{-14}$ *sec*, also rund 10 mal grösser als $Z$. Es findet sich also in der Tat die Zeit zwischen zwei Zusammenstössen rund 10 mal kleiner als diejenige Schwingungsdauer, die die erfahrungsgemässe Grenze bildet für die Gültigkeit der Hagen-Rubenschen Beziehung. Von hier an ist die Erfüllung des Ohm'schen Gesetzes $j = \lambda \mathfrak{E}$ nicht mehr gesichert. Es würde also bei dieser Wellenlänge die Hagen-Ruben'sche Beziehung nicht mehr zu gelten brauchen, auch wenn man nur die Leitungselektronen betrachtet, und ein Einfluss gebundener Elektronen noch nicht auftreten würde.

In Wirklichkeit wird man wohl annehmen können, dass sich im allgemeinen, wenn vielleicht auch nicht immer, beide Einflüsse übereinander lagern.

Die grösste Unsicherheit bei der Berechnung von $Z$ liegt in dem Ansatz für $\sigma$; jedoch ist $\sigma$ wenigstens der Grössenordnung nach hinlänglich bekannt. Es ist für $\sigma$ hier der kleinste der gefundenen Werte eingesetzt. Weniger macht es aus, dass wir über die Atomzahl $a$ im Molekül nicht orientiert sind, da in $Z$ vorkommt $\frac{\sigma^2}{a}$, und man nach den Resultaten der kinetischen Gastheorie annehmen kann, dass in erster Annäherung $\sigma^2$ proportional $a$ ist.[1])

Es liegt nun nahe, zu berechnen, welche Beziehung zwischen der Stromdichte $i$ und der Kraft $\mathfrak{E}$ bei Schwingungen besteht, die so schnell sind, dass $Z$ nicht mehr klein

1) Vgl. O. E. Meyer, l. c. p. 303.

gegen $\tau$ ist. Setzen wir $\mathfrak{E} = A \sin \frac{2\pi t}{\tau}$; $x$ sei die Richtung des Stromes. Die Bewegungsgleichung des Elektrons ist $\frac{m d^2 x}{dt^2} = A \sin \frac{2\pi t}{\tau}$; $\frac{dx}{dt} = -\frac{e}{m} \frac{A \tau}{2\pi} \cos \frac{2\pi t}{\tau} + const.$

Ist $t' = \varepsilon\tau$ die Zeit eines Zusammenstosses, so ist $\frac{dx}{d} = 0$ für $t' = \varepsilon\tau$, also $\frac{dx}{dt} = \frac{e}{m} \frac{A \tau}{2\pi} \left[ \cos \frac{2\pi t'}{\tau} - \cos \frac{2\pi t}{\tau} \right]$

Nun kann $t'$ variiren zwischen $t' - z$ und $t$.

Die Stromstärke zur Zeit $t$ werden wir also bekommen, wenn wir den Mittelwert des Ausdruckes für $\frac{dx}{dt}$ bilden, den man erhält, wenn man in ihm $t'$ zwischen diesen Grenzen variiren lässt. Eine einfache Rechnung ergiebt für diesen Mittelwert $\left(\frac{dx}{dt}\right) = A \frac{e}{m} \frac{\tau}{2\pi} \frac{\tau}{\pi 2} \sin \frac{\pi Z}{\tau} \sin \frac{\pi Z}{2\tau} \sin \left( \frac{2\pi t}{\tau} - \frac{\pi Z}{2\tau} \right)$

Also ist die mittlere Stromdichte $j$, wenn $N$ die Anzahl Elektronen im ccm,:

$$j = \frac{N e^2 Z}{m 2} \cdot \frac{2\tau^2}{\pi^2 Z^2} \sin \frac{\pi Z}{\tau} \sin \frac{\pi Z}{2\tau} A \sin \left( \frac{2\pi t}{\tau} - \frac{\pi Z}{2\tau} \right)$$

Wie man sieht, reduziert sich $j$, wenn $\tau$ sehr klein gegen $\tau$ ist, auf $j = \frac{N e^2 Z}{m 2} \cdot A \sin \frac{2\pi t}{\tau}$.

Die Leitfähigkeit $\lambda$ ist also $\lambda = \frac{N e^2}{m} \frac{Z}{2}$. Es ist leicht zu verificieren, dass dieser Ausdruck genau übereinstimmt mit dem von Drude (l. c. p. 576) angegebenen. Es bleibt also die Stromstärke in der Phase hinter der elektrischen Kraft zurück, um so mehr, je näher $Z$ in der Grössenordnung an $\tau$ herankommt. Ausserdem tritt an die Stelle der Leitfähigkeit $\lambda$ für quasistationären Strom jetzt die Grösse $\lambda \frac{2\tau^2}{\pi^2 Z^2} \sin \frac{\pi Z}{\tau} \sin \frac{\pi Z}{2\tau}$ welche, wie leicht zu sehen, kleiner ist als $\lambda$. In der That sind ja auch die Abweichungen von der Theorie im sichtbaren Gebiet in dem Sinn, als ob $\lambda$

verkleinert wäre gegen den für konstante Kraft geltenden Wert. Ob hier vielleicht eine annähernde zahlenmässige Uebereinstimmung mit der Erfahrung vorliegt, soll in einer späteren Arbeit untersucht werden.

Berechnung der Zahl N Elektronen im ccm.

Wir haben die Beziehung $\lambda = \frac{Ne^2}{m}\frac{z}{2}$; daraus $N = \frac{2\lambda m}{e^2 Z}$. Hierin ist alles bekannt, da auch $z$ oben berechnet war. Es war $Z = \frac{A a H}{d \pi \sigma^2 \omega}$.

Nun ist für einatomigen Wasserstoff nach O. E. Meyer l. c. die Querschnittssumme im ccm 5082 cm$^2$, also $\sigma^2 = \frac{5082}{\mathfrak{N}} = 182 \cdot 10^{-18}$. Ferner ist annähernd $\sigma^2$ proportional $\sqrt[3]{A}$. Demnach für $a = 1 : N = \frac{2m}{e^2}\frac{\omega}{H} d\lambda \cdot A^{-\frac{2}{3}} \cdot 182 \cdot 10^{-18}$.

Daraus ergiebt sich folgende Tabelle für die Elektronenzahlen bei 0° C.

| Metall | N |
|---|---|
| Kupfer | $32{,}9 \cdot 10^{23}$ |
| Silber | $28{,}9 \cdot 10^{23}$ |
| Gold | $24{,}7 \cdot 10^{23}$ |
| Aluminium | $8{,}8 \cdot 10^{23}$ |
| Zink | $7{,}7 \cdot 10^{23}$ |
| Platin | $5{,}9 \cdot 10^{23}$ |
| Nickel | $5{,}7 \cdot 10^{23}$ |
| Eisen | $5{,}3 \cdot 10^{23}$ |
| Cadmium | $4{,}9 \cdot 10^{23}$ |
| Antimon | $0{,}60 \cdot 10^{23}$ |
| Quecksilber | $0{,}41 \cdot 10^{23}$ |
| Wismut | $0{,}23 \cdot 10^{23}$ |

Die Grössenordnung von $N$ ist etwa dieselbe, wie sie sich bei den auf ganz anderen Grundlagen ruhenden Be-

rechnungen von Schuster[1]) und Drude[2]) ergeben hat. Jedoch sind die Zahlen von $N$ dort für die einzelnen Metalle fast gleich, während sie hier etwa im Verhältnis der Leitfähigkeiten stehen.

Am ähnlichsten sind sie hierin den von I. I. Thompson[3]) und Patterson[4]) aus der Leitfähigkeit $\lambda$ und der Wiederstandsänderung im magnetischen Feld berechneten Zahlen. Nach Drude ist $N$ gerade für die guten Leiter Silber, Kupfer, Gold am kleinsten, was an und für sich nicht sehr wahrscheinlich sein dürfte. Auch stimmt dieses nicht mit dem thermoelektrischen Verhalten dieser Metalle. Andererseits kommt bei Drude sehr gut der thermoelektrische Gegensatz zwischen Wismut und Antimon heraus infolge der grossen Verschiedenheit ihrer Elektronenzahlen. In der vorliegenden Berechnung unterscheiden sich diese beiden Metalle nur wenig in ihrer Elektronkonzentration.[5])

Bemerkt sei noch, dass in der allgemeinen für $N$ erhaltenen Formel nur $\omega$ und $\lambda$ stark von der Temperatur abhängig sind, und zwar ist $\omega$ proportional der Wurzel aus der absoluten Temperatur, $\lambda$ dagegen im allgemeinen etwa umgekehrt proportional der absoluten Temperatur, sodass $N$ umgekehrt proportional der Wurzel aus der absoluten Temperatur wird.

---

1) A. Schuster, Phil. Mag. (6) 7. p. 151. 1904.

2) P. Drude, Ann. d. Phys. 14. p. 936 ff. 1904.

3) I. I. Thomson, Rapp. Congr. internat. á Paris 3. p. 145. 1900

4) I. Patterson. Phil. Mag. (6) 3. p. 655. 1902.

5) Siehe auch die Berechnung von $N$ von R. Schenck, Physikal. Zeitschrift 8. p. 239. 1907.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 3 Mai 1910


In der Sitzung vom 11. Mai hielt Herr Kutscher folgenden Vortrag:

### Die Extraktivstoffe einiger Seetiere.

Die früher namentlich unter dem Einfluss Liebigs scharf geprägten Unterschiede zwischen dem Stoffwechsel der Pflanzen und Tiere gipfeln in den Sätzen, dass die Pflanzen aus einfachen, hoch oxydierten, anorganischen Stoffen wie Kohlensäure, phosphorsauren, schwefelsauren, salpetersauren u. a. Salzen unter Abspaltung von Sauerstoff die kompliziertesten organischen Stoffe z. B. Eiweiss, Alkaloide, Fette und Kohlenhydrate zu bilden vermögen. Der Stoffwechsel der Pflanze ist danach ein synthetischer, mit weitgehenden Reduktionen verknüpfter Prozess. Die Tiere hingegen zerstören wieder die von den Pflanzen gebildeten organischen Stoffe, die sie entweder direkt oder indirekt dem Pflanzenreiche entnehmen und in ihrem Organismus zu Kohlensäure, Schwefelsäure und den anderen einfachen von den Pflanzen benutzten Bausteinen verbrennen. Im Leben der Tiere spielen also analytische Vorgänge mit lebhaften Oxydationsprozessen die wichtigste Rolle.

Sehen wir aber genauer zu, dann vermögen wir selbst im Stoffwechsel des schnell oxydierenden Warmblüters viel-

seitige Reduktionen und Synthesen zu beobachten. Das bekannteste Beispiel hierfür ist die Bildung der Fette aus Kohlehydraten und auch die Eiweissstoffe werden beim Warmblüter höchstwahrscheinlich aus ziemlich einfachen Körpern den Aminosäuren aufgebaut. Nur verdecken die energischen Oxydationsprozesse uns beim Tiere die Synthesen und Reduktionen, also jene Vorgänge in denen sich der tierische Stoffwechsel dem pflanzlichen nähern und bei denen das Tier jedenfalls auch intermediäre Stoffwechselprodukte erzeugen muss, die den in der Pflanze gebildeten ähnlich oder gleich sind.

Versucht man aber derartige durch synthetische Vorgänge erzeugte intermediäre Stoffwechselprodukte, die Tier und Pflanze gemeinsam sind, beim Warmblüter zu fassen, dann stösst man auf die grössten Schwierigkeiten, weil eben beim warmblütigen Tiere die Oxydationsvorgänge zu stark überwiegen und die intermediären Stoffwechselprodukte schnell der endgültigen Oxydation verfallen. Weit günstiger müssen die Verhältnisse für derartige Untersuchungen beim Kaltblüter liegen, bei ihm verlaufen die Oxydationen langsam. Es lässt sich deshalb erwarten, dass beim Kaltblüter sich interessante intermediäre Stoffwechselprodukte auffinden lassen werden, die man bisher ausschliesslich bei der Pflanze nachgewiesen und die deshalb scheinbar charakteristisch für die Pflanze gewesen waren.

Diese Ueberlegungen veranlassten vor Jahren Herrn Dr. Ackermann[1]) und mich die Untersuchung der im Handel befindlichen Extraktivstoffe der Nordseegarnele (Crangon vulgaris) aufzunehmen. Bereits unsere ersten Arbeiten lieferten ein günstiges Resultat, denn es gelang uns sofort zwei organische Basen aufzufinden das „Betain“ und das „Methylpyridylammoniumhydroxyd“, zwei am Stickstoff methylierte Substanzen, die wohl im Pflanzenreich verbreitet sind, aber

1) Zeitschrift für Nahrungs- und Genußmittel, Bd. 13 S. 180 u. 610; Bd. 14 S. 687.

beim Tier bisher mit Sicherheit nicht angetroffen wurden. Der genannte Befund war umso wichtiger, weil im Tiere am Stickstoff methylierte Extraktivstoffe fast vollkommen fehlen, während sie bei den Pflanzen häufig und reichlich vorzukommen pflegen. Namentlich überraschte uns schon damals das massenhafte Auftreten von Betain im Krabbenextrakt, während Cholin, von dem man allgemein [1]) das Betain herleitete, vollkommen fehlte. Inzwischen ist allerdings von Engeland [2]) gezeigt worden, dass das Glykokoll die Muttersubstanz des Betains ist.

Der gute Erfolg veranlasste mich die Untersuchungen auch auf die Extraktivstoffe anderer Kaltblüter auszudehnen, wobei namentlich auf Betain diesen bisher für die Pflanzen scheinbar charakteristischen Bestandteil gefahndet wurde. Es kam zuerst der Flusskrebs (Astacus fluviatilis), der der Garnele nahe verwandt ist, an die Reihe. Auch in diesem Tiere wurde in der Tat das Betain nachgewiesen. Daneben fand sich noch Arginin, Neosin und Tyrosin, Cholin fehlte. Die hier erhaltenen Ergebnisse deckten sich also mit den bei den Krabben gewonnenen. Die Krebse zu diesen Untersuchungen waren mir von Herrn Professor Korschelt überlassen worden, dem ich an dieser Stelle meinen Dank sagen möchte.

Von niederen Kaltblütern wurde dann noch ein Seestern (Asterias rubens) verarbeitet. Die Untersuchung wurde von Herrn Dr. Suwa ausgeführt. Hier aber entsprach das Resultat nicht der Erwartung. Es wurde wohl die Vorstufe des Betains, nämlich das Glykokoll und das nächst höhere Homologe des Glykokolls die Aminopropionsäure in auffälliger Menge gefunden, das Betain selbst aber schien zu fehlen. Es besass danach der untersuchte Seestern zur Fangzeit nicht

---

1) Fr. Czapek, Biochemie der Pflanzen, Bd. II, S. 186.

2) Diese Sitzungsb. Jahrg. 1909, S. 128.

das Vermögen das Glykokoll zu methylieren und in Betain überzuführen.

Die Extraktstoffe sind hier also ähnlich den von Chittenden im Schliessmuskel einer Muschel (Pecten irradians) gefundenen,[1]) wo ebenfalls Glykokoll der hauptsächlichste Extraktstoff war. Leider hat Chittenden nicht nachgesehen, ob daneben Betain vorhanden war. Diese Resultate ergaben jedenfalls, dass im Organismus des Kaltblüters sich nicht nur das Betain sondern auch seine Vorstufe das Glykokoll anhäufen und längere Zeit der Zerstörung Widerstand leisten kann. Nachdem die Arbeiten Engelands[2]) mit Sicherheit die nahe Beziehung von Glykokoll und Betain erwiesen hatten, andererseits die vorliegenden Versuche, die Neigung des Kaltblüters reichlich Glykokoll als intermediäres Stoffwechselprodukt zu bilden, zeigten, liess sich vermuten, dass man im Krabbenextrakt neben Betain noch nicht methyliertes Glykokoll in merklicher Menge antreffen würde, das bei dem trägen Stoffwechsel der Garnele sich als solches erhalten hätte. In der Tat ist es denn auch Herrn Berlin gelungen, neben Betain nach besonderer Methode Glykokoll aus dem Krabbenextrakt darzustellen, womit bewiesen ist, dass bei den Krabben in der Tat zu gewissen Zeiten Glykokoll und Betain gleichzeitig vorkommen können.

Ein Knorpelfisch nämlich der Dornhai (Acanthias vulgaris), der seiner Stellung im Tierreiche nach Krebsen, Seesternen und Muscheln gegenüber als hochstehendes Geschöpf zu betrachten ist, ist durch einen auffallend trägen Stoffwechsel ausgezeichnet. Ich erwartete daher von vornherein bei ihm das gesuchte Betain anzutreffen, aber ich war doch überrascht als ich bei der Untersuchung der Embryonen dieses Tieres, die ich in trächtigen erwachsenen Tieren vor-

1) Chittenden, Annal. der Chemie u. Pharmaz. Bd. 178, S. 266, Jahrg. 1875.

2) l. c.

fand, 12 ‰ Betain nachweisen konnte, eine ungeheure Menge, wenn man bedenkt, dass 85 % der Embryonen Wasser sind.

Untersucht wurde schliesslich noch ein Knochenfisch, es wurde der leicht zugängliche Schellfisch gewählt. Hier fiel die Untersuchung negativ aus.

Die angeführten Resultate möchte ich durch die Befunde anderer Forscher ergänzen Von Brieger[1]) war das Betain in der Miesmuschel angetroffen, aber als Fäulnisprodukt angesprochen worden. Weiter fanden Suzuki und Joshimura[2]) in einem Tintenfisch (Ommastrephes sp.) reichlich Betain, sie hielten es allerdings für δ-Aminovaleriansäure. Ueber die Bedeutung des aus Mytilus edulis dargestellten Betains ist sich Brieger also nicht klar geworden und die beiden japanischen Forscher wussten wie bereits gesagt überhaupt nicht, was sie eigentlich in Händen hatten.

Die von Ackermann und mir und die weiteren in meinem Laboratorium erarbeiteten Kenntnisse über die Extraktstoffe der Kaltblüter zeigten zunächst mit Sicherheit, dass unsere Theorie, nach der sich der Stoffwechsel des Kaltblüters dem der Pflanze nähern und infolgedessen intermediäre Stoffwechselprodukte liefern muss, die denen der Pflanzen gleichen, richtig war. Denn wir vermochten, sobald wir uns mit dem Kaltblüter beschäftigten, daraus das Betain zu gewinnen, das bisher ausschliesslich auf die Pflanze beschränkt zu sein schien. Die Befunde waren aber scheinbar regellos, doch zeigt ein Blick auf die folgende Tabelle, dass abgesehen von den Knochenfischen, wo die Verhältnisse noch nicht geklärt sind, aus den mit genügenden Methoden untersuchten Extraktstoffen der Kaltblüter sich entweder Betain oder seine Vorstufe hat darstellen lassen.

---

1) Brieger, Die Ptomaine 1885/86.

2) Journal of the College of Agriculture, Tokio 1909.

| Name des untersuchten Tieres | Anwesenheit von Glykokoll zeigt + an Fehlen − | Anwesenheit von Betain zeigt + an Fehlen − |
|---|---|---|
| Crangon vulgaris | + | + |
| Astacus fluviatilis | Nicht untersucht | + |
| Mytilus edulis | Nicht untersucht | + |
| Pecten irradians | + | Nicht untersucht |
| Asterias rubens | + | ? |
| Ommastrephes sp. | Nicht untersucht | + |
| Acanthias vulg. erwachsenes Tier | Nicht untersucht | + |
| Acanthias vulg. Embryo | Nicht untersucht | + |
| Gadus äglefinus | ? | ? |

In der der wissenschaftlichen Sitzung folgenden Wahlsitzung wurde der alte Vorstand durch Akklamation wiedergewählt.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 4 Juni 1910


In der Sitzung vom 7. Juni sprach Herr P. Friedrich

### Ueber seit 9 Jahren festgestellte operative Dauerheilung einer besonders schweren, durch Hirngeschwulst bedingten Psychose. Vorstellung des dauernd geheilt gebliebenen Kranken.

Die durch Geschwulstbildung im Gehirn bedingten Psychosen gewinnen dann ein besonderes Interesse, wenn durch die Geschwulstentwicklung dauernde Zerstörung bestimmter Hirnabschnitte gesetzt worden, die Psychose aber trotzdem nach Entfernung der Geschwulst und der zerstörten Hirngebiete dauernd geheilt worden ist, sodass nicht der Ausfall einer bestimmten Hirnpartie als solcher, sondern die Wirkung des Tumors auf das gesamte Gehirn als Ursache der psychischen Störung angesprochen werden muss. Ein solcher prägnanter Fall ist der vorliegende. Die Einzelheiten der seinerzeitigen Krankengeschichte sind bereits im Jahre 1904 unter den „Mitteilungen zur Hirnpathologie, insbesondere zur Pathologie des Stirnhirns“ in der „Deutschen Zeitschrift für Chirurgie Bd. 67“ mitgeteilt worden. Als wesentlichste Punkte jener Krankheitsgeschichte sind hervorzuheben, dass der damals 48 Jahre alte Patient mehrfache Schädeltraumen erlitten hatte, dass an der Stelle der Traumen eine Schädelverdickung sich entwickelte. Seit dem Jahre 1898 stellten sich Zustände von Bewustlsoigkeit

mit sehr anhaltenden Krämpfen ein und seit dem Jahre 1900 Paralyse-ähnliche psychische Veränderungen, deren hervorstehendste Symptome läppisches, nachlässiges, gedankenloses, zerstreutes Wesen und eine ausgeprägte sexuelle Exzitation waren. Die Gespräche drehten sich nur noch um sexuelle Cynismen, Demimonde und Nudidäten, während Patient früher ein best beleumundeter Mann, in grosser aufreibender Berufstätigkeit gewesen war. Die am 10. September 1901 von Friedrich ausgeführte Trepanation liess ein apfelgrosses Sarkom der harten Hirnhaut entfernen, welches die 1. und 2. Stirnwindung rechts in sehr grossem Umfang zur Erweichung gebracht und zerstört hatte, sodass bei der Operation der Seitenventrikel breit eröffnet und das Corpus striatum freigelegt wurde. Wegen Einbruchs der Tumormassen in die Diploë musste der Schädelknochen in einer Ausdehnung von 168 Quadratzentimeter mit fortgenommen werden. Die Heilung erfolgte damals reaktionslos, sodass Patient nach 4 Wochen geheilt aus der Klinik entlassen werden konnte. Innerhalb dieser Nachbehandlungszeit zeigten sich bereits von den schweren psychischen Schädigungen nur noch geringe Spuren und seit der Entlassung ist Patient wieder in seinem früheren Berufe tätig gewesen und zwar mit solchem Erfolg, dass er immer, wie noch gegenwärtig, dreihundert Arbeiter beschäftigt und als Bauunternehmer alle seine Unternehmungen selbst kalkuliert und in tadelloser Weise erledigt. Eine auch von neurologischer Seite (Prof. Müller) durchgeführte Untersuchung hat irgendwelche Störungen nicht mehr ergeben Das Sexualleben ist wenige Monate nach der Operation wieder ein vollständig normales geworden und geblieben, ohne jede Spur von Anklängen an die Störungen der Zeit vor der Operation. (Der Kranke wird in der Sitzung den Anwesenden als völlig geheilt vorgestellt.)

Die Beobachtung beweist, was schon von Friedrich früher ausgeführt wurde, dass die Psychose nicht an

die verletzten Abschnitte des Stirnhirns gebunden gewesen sein kann, da bei der weitgehenden Zertrümmerung von Rinde und Mark dann wenigstens teilweise die Psychose auch nach der Operation hätte fortbestehen müssen. Auch die eigenartige sexuelle Färbung des Krankheitsbildes kann nur als ein Druckphänomen des Tumors auf benachbarte, wahrscheinlich basale Hirngebiete aufgefasst werden.

Bemerkenswert ist noch, dass auch Marchand, welcher damals das Tumorpräparat untersuchte, den Zusammenhang traumatischer Entstehung der Neubildung für wahrscheinlich erklärte.

Endlich lässt der vorgeführte Kranke eine Erscheinung beobachten, die hier hervorgehoben zu werden verdient Nach angestrengtem geistigen Arbeiten, beim Ermüden des Gehirns, pflegt das Gehirn an der Trepanationsstelle, welche heute noch den grossen Knochendefekt zeigt, mit seiner Weichteilbedeckung tief grubenartig einzusinken, während nach Ruhe und Erholung die betreffende Partie sich vorwölbt, das Gehirn also in dieser Phase Volumzunahme zeigt. Es steht diese Erscheinung, welche alltäglich beobachtet werden kann, in Gegensatz zu den bisherigen theoretischen Vorstellungen und ist daher besonderer Beachtung wert.

Der Vortragende knüpft an die Mitteilung dieser seit nunmehr 9 Jahren stabil gebliebenen Heilung einer so schweren Psychose Ausführungen zur Erklärung der Geschwulstpsychosen, soweit der gegenwärtige Stand der Wissenschaft eine solche ermöglicht.

Weiter sprach Herr Disse:

## Ueber die Lymphbahnen der menschlichen Magenschleimhaut.

Vor den Untersuchungen von Christian Lovèn (1, 2) waren in der Magenwandung nur abführende Lymphgefässe bekannt. Sie sind in Form von Lymphgefässnetzen angeordnet; ein Netz liegt subserös, ein zweites in der Submucosa, ein drittes innerhalb der Mucosa, dicht auf der muscularis mucosae. Die Netze stehen miteinander in vielfacher Verbindung; über ihre Zuflüsse, besonders die aus der Schleimhaut kommenden aber war nichts bekannt.

Lovèn stellte durch Einstichinjektion in die Schleimhaut Bahnen dar, die er für Lymphgefässe erklärte. Es sind Gänge von ungleicher Weite, die die Schleimhaut senkrecht durchsetzen, zwischen den Drüsen gelegen sind, und hie und da durch quere oder schräge Aeste mit einander in Verbindung stehen. Es sind das die „interglandulären Lymphsinus". Sie beginnen in der Umgebung der Magengrübchen, unterhalb des Epithels; manche entstehen durch Zusammenfliessen „feinerer und gröberer, zuweilen ziemlich langer Kanäle", die ein oberflächlich gelegenes Netzwerk darstellen, andere dagegen fangen mit einem blinden, kolbigen Ende an. Den Sinus kommt keine selbständige Wandung zu; sie sind als Lücken zwischen den Drüsen oder zwischen Drüsengruppen anzusehen. Als Wurzeln der Lymphsinus betrachtet Lovèn feine, anastomosierende Räume, die das Stroma der Magenschleimhaut durchziehen, und „bald als regelmässige zylindrische Kanäle, bald als mehr rissige Spalträume, bald wieder als grössere, sinusartige Kavitäten auftreten". (Ges. Abhandl. S. 224.) Es wären also die Spalten die zwischen

den Bündeln und Lamellen des Stroma der Magenschleimhaut vorhanden sind, die Wurzeln der Lymphbahnen. Sie besässen also ebensowenig eigene, selbständige Wandungen, als die interglandulären Lymphsinus. Die Lymphe wäre innerhalb der Propria in ähnlicher Weise enthalten, wie Wasser in einem imprägnierten Stoffe; die Flüssigkeit kann in die Fäden nicht eindringen und bleibt in den Zwischenräumen des Gewebes.

Die Existenz eines Netzwerks grösserer Lymphgefässe zwischen den Drüsen ist von Cunéo und Delamare (3) bestätigt worden; aber diese Autoren halten das Netzwerk für ein geschlossenes System. Es würden ausser ihm, keine Wurzeln der Lymphgefässe existieren, und besonders können die Gewebsspalten nicht als ein Bestandteil der Lymphbahn angesehen werden.

Die Frage, ob das von Lovèn gefundene Netz zwischen den Drüsen die gesamte Lymphbahn der Magenschleimhaut darstellt, oder ob es noch besondere Zuflüsse besitzt, ist nicht entschieden; ich habe darum die Untersuchungen wieder aufgenommen und vornehmlich am menschlichen Magen durchgeführt. Zuerst wurde versucht, die Lymphbahnen durch Einstich zu füllen, und zu diesem Zweck eine 1 % wässrige Lösung von Berliner Blau benutzt, der 10 Volumprocente Formol zugesetzt waren. Man sticht am besten von der inneren Oberfläche der Schleimhaut her ein und injiziert 1—2 c. c. unter schwachem Druck.

Es füllen sich nun vielfach diffus ausgedehnte Räume zwischen den Drüsen; aber in der Umgebung derartiger Extravasate trifft man Netze feiner, geschlossener Gefässe an, die mit Injektionsmasse gefüllt sind. Das Netz ist nur auf kurze Strecken hin gefüllt, seine Maschen sind enge, rundlich; die Gefässe zeigen keine vorherrschende Richtung, und besonders kann man nicht von längslaufenden Stämmen reden, die durch quere Anastomosen mit einander verbunden wären. Das Netzwerk liegt in der Region der Drüsen.

Nach der Oberfläche hin werden die Gefässe etwas weiter; das Netzwerk steht mit feineren Stämmen in Verbindung, die hie und da zu grösseren Gefässen sich vereinigen. Die grössten Gefässe verlaufen senkrecht zur Oberfläche; sie durchsetzen die Schleimhaut in der Richtung des Dickendurchmessers und laufen auf die muscularis mucosae zu.

Die feinen Gefässe messen 0,007 bis 0,009 im Durchmesser; die oberflächlicheren Gefässe sind 0,010 bis 0,012 mm stark, und die Stämme, die aus ihnen hervorgehen, fand ich zwischen 0,22 bis 0,30 mm weit. Bei den feineren Gefässen fällt auf, dass die Injektionsmasse hauptsächlich der Wand anliegt, sodass die Lichtung manchmal hell erscheint; auf dem Querschnitt erscheint ein Gefäss zuweilen wie ein blauer Ring.

Ein oberhalb der muscularis mucosae gelegener Plexus weiterer Gefässe war stellenweise gefüllt; ebenso ziemlich weite Gefässe innerhalb der Submucosa.

Nun besitzt das Netzwerk feinster Gefässe hinsichtlich seines Durchmessers, seines Verlaufs und seiner Verästlungsweise eine grosse Aehnlichkeit mit dem Netzwerk der Blutkapillaren; diese haben nur einen etwas kleinen Durchmesser. Die oberflächlichen Stämme erinnern an das Netzwerk der Venenanfänge, das die Magengrübchen umgibt, und die abführenden Stämme gleichen ganz den Venen, welche das Blut aus den oberflächlichen Venen abführen.

Da nun bei Einstichinjektionen immer die Möglichkeit einer Eröffnung der Blutbahn vorliegt, musste zuerst entschieden werden, ob die gefüllten Gefässe nicht etwa Blutgefässe sind.

Eine nachträgliche Füllung der Blutbahn war an meinem Material nicht ausführbar; ich versuchte daher Einstichinjektionen in die Schleimhaut menschlicher Mägen, deren Blutgefässe gut gefüllt waren. Die Mägen waren längere Zeit in starkem Alkohol aufbewahrt worden. Der Ver-

such gelang; es füllten sich ebenfalls Netze feiner Gefässe, die in allen Beziehungen den Netzen am frischen Magen gleich sahen. Nun sieht man aber deutlich, dass die Injektionsmasse ausserhalb der Blutgefässe geblieben ist sie füllt Räume aus, welche scheidenartig die Blutkapillaren und die Venenanfänge umgeben.

Diese scheidenartigen Räume sind bei Kapillaren und Venen sehr enge Spalten. Sie werden nach Aussen durch eine sehr dünne, aber vollständige und isolierbare Wand abgeschlossen. Besonders gut erkennt man sie, wenn der Schnitt ein Blutgefäss mit seiner Scheide der Länge nach getroffen hat. Die Lichtung der Scheide ist so fein, dass eine direkte Messung Schwierigkeiten macht. Ein Kapillargefäss mit gefüllter Scheide erscheint nur wenig dicker als das Gefäss allein. Nur wenn die Injektionsmasse der Blutgefässe geschrumpft ist, erscheint die perivasculäre Scheide weiter.

Auch die Wandung, welche die Gefässscheide nach aussen hin abschliesst, ist sehr dünn. Wenn die Scheide nicht gefüllt ist, kann ihre Wand leicht übersehen werden; bei unvollständiger Füllung dagegen nimmt die Wand einen leichtbläulichen Ton an und ist gut sichtbar. Sie erscheint leicht längs gestreift, als ob sie aus Fibrillen bestände. Trotz ihrer Feinheit schliesst sie den perivasculären Raum gut nach aussen ab; wenn ein Gefäss mit gefüllter Scheide durch diffus gefülltes interstitielles Gewebe verläuft, so ist die Gefässscheide dennoch zu erkennen, ihr Inhalt setzt sich gegen die diffus verteilte Injektionsmasse deutlich ab. Die Gefässscheiden entleeren sich vielfach direkt in den subglandulären Plexus; ferner münden sie in die grösseren Gefässe ein, die aus den Scheiden der Venenanfänge durch Zusammenfliessen entstehen, und die Schleimhaut senkrecht durchsetzen. Diese liegen oft neben den abführenden Venenstämmen. Die Magenschleimhaut besitzt also ein System zusammenhängender perivasculärer Scheiden, das Kapillaren und Venenanfänge

umgibt. Diese perivasculären Räume entleeren sich in grössere Stämme, die zum Lymphsystem gehören.

Nun ist die erste Frage die, ob diese perivasculären Räume immer vorhanden sind, oder ob sie sich nur infolge der Einstichinjektion bilden. Es wäre möglich, dass in der unmittelbaren Nachbarschaft der Blutgefässe die Flüssigkeit, die unter einigem Druck in das Gewebe eingetrieben wird, den geringsten Widerstand findet und dass sie deshalb den Gefässen einfach folgt. Gegen diese Auffassung lässt sich das Aussehen der perivasculären Räume geltend machen. Wenn sie gefüllt sind, so liegt die Injektionsmasse einer bindegewebigen Wandung an, die in einigem Abstande das Blutgefäss begleitet. Die Lichtung der Blutgefässe bleibt frei von dem eingespritzten Farbstoff. Es werden auch durch die Injektion die leeren Blutkapillaren nicht zusammen gedrückt, sondern sie bleiben vielfach offen; dann sieht man auf Querschnitten blaue feine Ringe, auf Längsschnitten feine helle Spalten die von blauen Streifen begleitet werden. Es hat also kein nennenswerter Druck eingewirkt, die Injektionsmasse hat sich nicht etwa gewaltsam einen Weg bahnen müssen. Viel mehr ins Gewicht aber fällt der Umstand, dass perivasculäre Räume mit eigner Wand auch dann nachzuweisen sind, wenn keine Injektion der Lymphbahn stattgefunden hat.

Die äussere Wand der perivasculären Scheide wird durch Berlinerblau etwas gefärbt; man sieht, dass sie aus Bindegewebe besteht, das fein fibrillär erscheint. Wir kennen nun Mittel genug, um feine Bindegewebszüge färberisch nachzuweisen; ich habe mich mit Vorteil der neuesten, von Mallory angegebenen Bindegewebsfärbung bedient (4).

Feine Schnitte menschlicher Magenschleimhaut, deren Blutgefässe mit Karminleim injiziert waren, wurden auf Bindegewebe gefärbt. Auf diesem Wege kann man überall bindegewebige Hüllen für die feineren Gefässe und die Kapillaren darstellen, die durch einen feinen Spaltraum von

der Gefässwand selbst getrennt werden. Die Gefässe werden in geringem Abstand, von einer Scheide mit dünner Wand begleitet; zuweilen kann man eine Strecke weit die leere Kapillerscheide erkennen, falls das Gefäss schräg abgeschnitten ist und die Scheide allein noch eine Strecke weit in den Schnitt fällt. Auch reine Querschnitte der Kapillaren zeigen öfters einen feinen Ring, der das Gefäss umgibt — die gefärbte Kapillarscheide. Dass man aber in vielen Fällen, gerade auf Querschnitten, die Gefässscheide nicht als selbständige Lamelle erkennen kann, ist selbstverständlich, wenn man die beim Einbetten des Präparates notwendig erfolgende Schrumpfung des Gewebes berücksichtigt. Ueberhaupt kann nur der die Bedeutung gelegentlich sichtbar werdender perivasculärer Spalten würdigen, der die Resultate von Einstichinjektionen kennt; er wird sich davon überzeugen, dass das Bindegewebe, das die kleinen Gefässe begleitet, nicht regellos verläuft, sondern dass es röhrenförmige, dünnwandige Gefässscheiden bildet.

Nun ist ein wesentlicher Punkt noch zu untersuchen. Sind die perivasculären Räume lediglich von Bindegewebe begrenzt, oder haben sie eine Auskleidung durch Zellen, eine Endothellage? Gleicht das Endothel dem der Lymphbahnen?

Die Entscheidung über diesen Punkt kann nur durch die Anwendung von Argentum nitricum erzielt werden. Dieses Reagens macht aber nur in lebensfrischen Organen die Zellgrenzen des Endothels deutlich, und lässt sich auf das erreichbare menschliche Material nicht mehr anwenden. Es blieb nur übrig, tierische Mägen heranzuziehen; es fragte sich, ob auch bei diesen perivasculäre Räume existieren, die mit den Lymphbahnen in offener Verbindung stehen, und ob diese Räume eine zellige Auskleidung besitzen.

Ich habe 2 Mägen von neugeborenen Katzen und 3 Mägen von jungen Hunden (3 Wochen alt) auf die Lymphbahnen untersucht; die Mägen der Hunden waren leer, die der Katzen mit Milch prall gefüllt. Es wurde in die Schleim-

haut, von der inneren Seite eine 1% Lösung von Argentum nitricum injiziert, und die Mägen darauf in Formol-Alkohol gehärtet; die Härtung erfolgte in Glasschalen unter Einwirkung des diffusen Tageslichts. Dabei tritt eine Braunfärbung der injizierten Schleimhautstücke ein. Eine grössere Anzahl von Schleimhautstücken wurde in Paraffin eingebettet und in Schnitte von 0,02 mm Dicke zerlegt. Es war der submucöse Lymphgefässplexus vollständig gefüllt, das Endothel deutlich unterscheidbar; die Wandung der Lymphgefässe hatte einen bräunlichen Ton angenommen. Innerhalb der Schleimhaut war der subglanduläre Plexus injiziert, und seine endotheliale Auskleidung gut zu erkennen. Man sieht nun, dass dieser Plexus Zuflüsse aus der Schleimhaut erhält. Diese Zuflüsse sind einmal stärkere Stämme, mit selbständiger Wand, welche an ihrer Innenfläche eine endotheliale Bekleidung trägt. Sie durchsetzen die Schleimhaut in senkrechter Richtung und können bis in Gegend der Magengrübchen verfolgt werden.

Diese Stämme liegen in geringen ungefähr gleichen Abständen von einander. Sie stehen durch spärliche, quer oder schräg laufende Zweige mit einander in Verbindung. Sie haben 0,012 bis 0,016 mm im Durchmesser; ihre Abstände von einander betragen 0,1 bis 0,15 mm; ausserdem verlaufen sie selbständig ohne Anlehnung an Blutgefässe.

Diese Lymphgefässe sind die Abflüsse für die perivasculären Räume, welche das oberflächliche Netz feiner Venen umgeben. Sie entstehen dadurch, dass aus der Wand der perivasculären Räume röhrenförmige Fortsätze heraustreten, sich miteinander verbinden und zu einem abführenden Gefäss werden; aber dieses Gefäss ist selbständig, es ist nicht etwa ein Hohlzylinder, der ein Blutgefäss umschliesst. Das Endothel tritt da auf, wo das selbständige Lymphgefäss beginnt.

Derartige selbständige Lymphgefässstämme hat vom Hundemagen Mall (5) beschrieben und abgebildet; auch

Cunéo und Delamare beschrieben diese Gefässe. Es haben aber diese Autoren nicht erkannt, dass es sich um Abflusswege aus den perivasculären Räumen handelt, die die Venenanfänge umgeben. Wenn diese Räume unvollständig gefüllt sind, erscheint der Beginn eines abführenden Lymphgefässes wie eine blinde Ausbuchtung, eine Ampulle, die Cunéo und Delamare als „ampoule initiale" bezeichnet haben.

Bei Injektionen mit argent. nitr. füllen sich die feinen perivasculären Räume nur sehr unvollständig, auf ganz kurze Strecken hin. Man findet sie nur, wenn man sie kennt und nach ihnen sucht. Aber auch die Silberpräparate stellen die Wandung der Scheiden um Kapillaren und Venen ausgezeichnet dar, wenn auch nur eine kurze Strecke der Scheide gefüllt ist. Die Kapillarscheiden münden in jeder Höhe in die senkrecht laufenden Lymphgefässe der Schleimhaut ein; sie ergiessen sich in die Scheiden um die Venenanfänge und endlich münden sie vielfach direkt in die Aeste des subglandulären Plexus. An diesen Stellen sind sie meistens gefüllt. Man sieht auf Schnitten nicht selten, dass eine Strecke weit ein Kapillargefäss mit der es umgebenden Lymphscheide getroffen ist. Das Kapillarrohr erscheint ganz hell, eine Endothelzeichnung ist nicht zu sehen — ein Beweis dafür, dass die Silberlösung nicht in das Lumen eingedrungen ist. Die Wand der Kapillarscheide ist gewöhnlich dunkel gefärbt, sieht bräunlich aus; sie ist durch einen feinen Spalt vom Kapillarrohr getrennt. Ich konnte in mehreren Fällen den Durchmesser des Kapillarrohrs auf 0,005 mm bestimmen; das Kapillarrohr, umgeben von der Lymphscheide, mass 0,008 mm. Dabei mündete die Kapillarscheide einmal in eine perivenöse Scheide ein, ein anderesmal stand sie in direkter Verbindung mit einem Zweige des subglandulären Lymphgefässplexus. Das Endothel dieses Gefässes setzte sich nicht in die Kapillarscheide hinein fort. Ebensowenig gelang es auch nur ein einzigesmal eine Andeutung eines Endothelüberzugs in der Scheide einer kleinen Vene zu sehen.

Durch die Resultate der Silberinjektion wird also das bestätigt, was die Injektion von Berliner Blau ergeben hatte; es gibt in der Magenschleimhaut ein System perivasculärer Räume, welches mit selbständigen Lpmphgefässen in offener Verbindung steht. Die perivasculären Räume besitzen eine eigene Wand; sie werden dadurch gegen das interstitielle Gewebe und dessen Spalten abgeschlossen. Wir müssen dieses perivasculäre System zum Lymphsystem rechnen; es stellt die Wurzeln der Lymphbahn des Magens vor. Da diese Wurzeln beim Magen von Hunden und Katzen einer zelligen Auskleidung entbehren, so darf man wohl annehmen, dass sie auch beim menschlichen Magen kein Endothel besitzen. Aber dieser Umstand hindert nicht, dass die betreffenden Räume in offener Verbindung mit wirklichen Lymphgefässen stehen, und dass sie deshalb zum Lymphgefässsystem gehören.

Die eigentlichen Wurzeln der Lymphbahn in der Magenschleimhaut, nämlich die feinen perivasculären Räume um die Kapillaren und die kleinen Venen sind Lovèn entgangen. Er bildet in Figur 10 (2, Tafel VII) zwar ein Netzwerk anastomosierender Räume ab, die in einen „interglandulären Sinus", also ein abführendes Lymphgefäss, einmünden, deutet dieses Netzwerk aber nicht als ein System von perikapillaren Räumen, sondern bezeichnet es in der Figurenerklärung als „ein reiches System von netzartig verbundenen Lymphbahnen", die sich durch Zusammenfliessen aus den sternförmigen Bindegewebskröperchen bilden sollen. Der Abbildung nach handelt es sich vielleicht um Kapillarscheiden, die auf eine kurze Strecke hin gefüllt sind. Um diese Räume, aus denen die Lymphe in die abführenden Bahnen tritt, ohne Injektion darzustellen, hat Lovèn feine Gefrierschnitte frischer Magenschleimhaut mit Osmiumlösung behandelt; dabei hat er, wie Figur 14 erweist, das retikuläre Gewebe dargestellt aus dem die Propria in der Umgebung der Magengrübchen besteht, hat aber dessen Lücken für die Anfänge der Lymphbahn gehalten.

Die interglandulären Sinus von Lovèn dagegen sind wirkliche Lymphgefässe, mit eigener, selbständiger Wand. Dass sie aus einem, nahe der Oberfläche der Schleimhaut gelegenen Netzwerk entstehen, wie Lovèn angibt, ist richtig das Netzwerk ist das Netz der Scheiden um die kleinen Venen, das in der Höhe der Magengrübchen liegt. Lovèn hat sich anscheinend der Silberlösungen bei seinen Untersuchungen nicht bedient und die Frage, ob die von ihm injizierten Räume ein Endothel besitzen, nicht aufgeworfen.

Es finden sich Kapillarscheiden mit selbständiger Wandung, die mit den Lymphbahnen in offener Verbindung stehen, in der Leber der Säugetiere vor; ich muss dafür auf eine Untersuchung verweisen, die ich vor längerer Zeit veröffentlicht habe (6). Dort sind auch schon Tatsachen angeführt, aus denen hervorgeht, dass in einzelnen Organen ein perivasculäres, zur Lymphbahn gehöriges Scheidensystem bei Reptilien, namentlich bei Schlangen und Eidechsen besteht, das am lebenden Tier gefüllt werden kann. Wenn man einer lebenden Eidechse fein mit Kochsalzlösung verriebene chinesische Tusche in die Bauchhöhle einspritzt, so ist nach 72 Stunden die Leber fast schwarz; die Färbung beruht darauf, dass sich die Tuschekörnchen in perivasculären Räumen abgelagert haben, welche die Kapillaren der Leber umgeben. Die Ausfüllung ist eine gleichmässig dichte, sie erinnert an eine gut gelungene postmortale Injektion. Da sich die Färbung der Leber immer mehr ausprägt, je länger die Zeit ist, die seit der Injektion verstrichen ist, so muss man schliessen, dass die injizierten Tuschekörner im Organismus zirkulieren, und dass sie nach und nach in den engen Spalträumen innerhalb der Leber festgehalten werden. Die Tusche zirkuliert aber nicht mit dem Blute. Die Blutgefässe bleiben, bis auf wenige Körner, frei, und diese Körner können durch Leukocyten in die Blutbahn gebracht sein. Die Tuschekörner schwimmen also in der farblosen Gewebsflüssigkeit; und diese strömt nach den Lymphbahnen hin. Sie passiert die engen Anfänge

der Lymphbahn in den einzelnen Organen, und dabei werden die in der Gewebsflüssigkeit schwimmenden körperlichen Elemente in den Wurzeln der Lymphgefässe zurückgehalten. Daraus erklärt sich, dass die abführenden Lymphgefässstämme selbst von Tusche frei bleiben.

Wenn nun bei Reptilien perivasculäre Spalträume die Wurzeln der Lymphbahn in einzelnen Organen, namentlich in der Leber, darstellen: wenn sich ferner bei Säugetieren in einzelnen Organen perivasculäre Räume vorfinden, die mit Lymphbahnen in offener Verbindung stehen, so ist es wahrscheinlich, dass auch die perivasculären Räume bei den Säugetieren die Wurzeln der Lymphbahn darstellen, dass sie während des Lebens von Gewebsflüssigkeit durchströmt werden, die zu den Lymphbahnen hin fliesst, und durch diese abgeführt wird. Die perivasculären Bahnen für die Gewebsflüssigkeit sind nun nach aussen hin abgeschlossen; sie besitzen eine selbständige Wand.

Es bleibt noch aufzuklären, wie es kommt, dass die Gewebsflüssigkeit in diese Räume zwar eintritt, sie aber dann nicht mehr verlässt und zu den Lymphbahnen hin fliesst. Vielleicht spielt dabei eine Saugwirkung von den grossen Lymphgefässstämmen her eine Rolle, die auf die Wurzeln der Lymphbahn wirkt, trotzdem dass in die abführenden Lymphgefässe die Lymphknötchen mit ihrer wundernetzartig angeordneten Lymphbahn eingeschaltet sind. Die Lymphe des ductus thoracicus ergiesst sich in die vena subclavia, an der durch die Atmung und die Herzbewegung periodisch gesaugt wird. Es muss diese Saugwirkung die Strömung der Lymphe im ductus thoracicus beeinflussen und ihr die Richtung nach dem Herzen hin geben. Infolgedessen muss der Strom aus den Lymphbahnen der Eingeweide zum ductus thoracicus hin gehen; an den Wurzeln der Lymphbahnen, innerhalb der einzelnen Organe, muss wegen der bestimmten zentripetalen Stromrichtung in den abführenden Gefässen eine Saugwirkung ausgeübt werden. Es besteht

das Bestreben, die Wurzeln zu entleeren; darum tritt die interstitielle Flüssigkeit der Organe, die Wandungen passierend, in die Lymphbahnen ein, und verlässt sie nicht mehr, weil sie dann nach den grösseren Stämmen weiter geführt wird. Eine solche Strömung der Gewebsflüssigkeit nach der Lymphbahn hin muss in allen Organen beständig im Gange sein; ob die Wurzeln der Lymphbahn in Form perivasculärer Scheiden entwickelt sind, oder ob sie durch ein Saftlückensystem gebildet werden, kommt hierfür nicht in Betracht.

Von der Beigabe von Abbildungen wurde abgesehen, weil eine grössere Arbeit über das gleiche Thema an anderer Stelle erscheinen soll. Die betreffende Präparate wurden im Anschluss an den Vortrag demonstriert.

## Literatur.

1) Christian Lovèn, Die Lymphbahnen der Magenschleimhaut. Vorläufige Mitteilung. Nordiskt medizinskt Arkiv. II. 1870.
2) Christian Lovèn, Die Lymphbahnen der Magenschleimhaut. Nordiskt medicinskt Arkiv. V. 1873.
Beide Arbeiten sind abgedruckt in „Anatomische und Physiologische Abhandlungen von Christian Lovèn", herausgegeben von A. Tigerstedt, Leipzig 1906.
3) Cunéo et Delamare, les Lymphatiques de l' estomac. Journal de l' Anatomie et de la Physiologie, 1900, S. 393.
4) Mallory, a contribution to staining methods; a differential stain for connective tissue, fibrillae and reticulum. Journal of experimental medicine, vol. V. 1900. Referat in der Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie Bd. 18, S. 175. 1901.
5) Mall, The vessels and walls of the dog's stomach. The Johns Hopkins Hospital reports vol. I. Dezember 1889.
6) Disse, Ueber die Lymphbahnen der Säugetierleber. Archiv für mikrosk. Anatomie, Bd. 36. 1890.

In der der wissenschaftlichen Sitzung folgenden Wahlsitzung wurden Herr Professor Dr. Sauerbruch, Herr Privatdozent Dr. Häcker, Herr Privatdozent Dr. Schöne, Herr Privatdozent Dr. Harms, Herr Dr. Heyde und Herr Dr. Kautzsch zu ausserordentlichen Mitgliedern der Gesellschaft gewählt.

Aufgelegte Schriften:

Jahresb. schles. Ges. vaterl. Cultur. 1908. Breslau 1909.
IX. Bericht Ver. Naturk. Fulda. 1909.
37. Jahresb. westf. Provinz. — Ver. Münster. 1909.
Leopoldina. Heft 45. Nr. 7—10. Halle 1909
Sitz. Ber. bayer. Ak. Wiss. Jahrg. 1909, Abt. 4—14. München 1909.
Herz. Techn. Hochschule Braunschweig. Progr. f. 1909/10.
Verh. Schweiz. naturf. Ges. 91. Jahresvers. Glarus 1908. Bd. 1 u. 2. Aarau.
Jahresber. naturf. Ges. Graubünden. Bd. 51. Chur. 1909.
Mem. & Proceed. Manchester liter. & philos. Soc. 53, 3. Manch. 1909.
Transact. Canadian Institute 8, 3. Toronto 1909.
Verh. geol. Reichsanst. Wien 1909. Heft 6—9. Wien 1909.
Schriften Ver. Verbr. nat. Kenntn. Wien. Bd. 49. Wien 1908/09.
Mitteil. Naturw. Ver. Steiermark. Bd. 45, H. 1 u. 2. Graz 1909.
Mitteil. Ver. Naturf. Reichenberg. Festschrift. Jahrg. 39. 1909.
Verh. u. Mitteil. Siebenbürg. Ver. Naturw. Hermannst. Bd. 58. 1908.
Jahresb. Gewerbelehrlingsschule Besztercze. Bistritz 1908.
Koninkl. Akad. Wetensch. Amsterdam: Verslagen Afdeeling Natuurk. 1908. Dl. 17, 1. 1907. Dl. 17, 2.
Koninkl. Akad. Wetensch. Amsterdam: Jaarboek, 1908. Amsterd. 1909.
Koninkl. Akad. Wetensch. Amsterdam: Verhandel. 1. Sect. **10, 1.** 2: Sect. **14, 2—4.** 3. Sect. **15, 1.**
Arkiv f. Zoologi. Bd. 5, H. 1—3. Upsala 1909.
Arkiv. f. Matem. Astr. etc. Bd. V, H. 1—2. 1909.
„ „ Botanik. Bd. 8, H. 1—4. 1909.
Bergens Museum. Aarbog 1909, H. 1 u. 2. Bergen 1909.
Skrifter V. B. Bd. I, Nr. 1. 1909.
Crustacen of Norway. vol. V, p. 25 u. 26. 1909.
Stavanger Museum. Aarshefte f. 1908. Stavang. 1909.
Bullet. Ac. imp. Sc. Pétersbourg 1909. Nr. 12—14.
Tokyo Zoological Society. VII, 2. Tok. 1909.

# Sitzungsberichte
der
## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften
zu
## MARBURG

№ 5 August 1910

In der Sitzung vom 4. August trug zuerst Herr F. Richarz vor über

### Anwendung der Elektronentheorie auf den Magnetismus.

Bereits in den Jahren 1890—1893 habe ich in den Sitzungsberichten der Niederrheinischen Gesellschaft zu Bonn die Anschauung dargelegt, dass der Atommagnetismus in folgender Weise zu erklären sei. Mit den ponderablen Atomen sind verbunden Helmholtzsche Elementarquanten, für welche mittlerweile allgemein die Bezeichnung Elektronen angenommen ist. Der Magnetismus von Atomen ist zu erklären durch das Vorhandensein solcher Elektronen, die innerhalb des Atoms in kreisförmigen oder ähnlichen in sich zurücklaufenden Bahnen zirkulieren. Diese Zirkulation ist für die Atome vorhanden, schon ehe sie in ein magnetisches Feld hineingebracht werden. Die Bahnebenen der zirkulierenden Elektronen besitzen dann aber noch im Sinne der Wilhelm Weberschen Theorie alle möglichen Richtungen. Beim Hineinbringen in ein magnetisches Feld werden die Bahnebenen unter Ueberwindung quasielastischer intraatomaler Kräfte mehr oder weniger gerichtet. Ich habe damals schon auf Grund dieser Annahme berechnet, dass bei Parallelrichtung sämtlicher Bahnebenen für die magnetische Sättigung sich Werte der maximalen Magnetisierung berechnen lassen, die

mit denjenigen, welche erfahrungsgemäss bei Eisen, Kobalt und Nickel gefunden werden, der Grössenordnung nach übereinstimmen. (Siehe insbes. Bonner Sitz.-Ber. 4. Dez. 1893, Münch. Sitz.-Ber. 13. Jan. 1894, Wied. Ann. Bd. 52, p. 410, 1894.)

Durch die unter meiner Leitung ausgeführten Dissertationen über die Heuslerschen Legierungen, insbesondere diejenigen von Herrn Paul Asteroth und Werner Gebhardt, veranlasst, habe ich weiter mir über den Unterschied von paramagnetischen und ferromagnetischen Substanzen Rechenschaft zu geben versucht und habe die darüber möglichen Anschauungen in den genannten Dissertationen veröffentlicht. In beiden Fällen muss die ursprüngliche Existenz zirkulierender Elektronen angenommen werden. Man kann aber entweder annehmen, dass in den ferromagnetischen Substanzen solche Elektronen in grösserer Anzahl oder mit grösserer Geschwindigkeit oder in weiteren Bahnen rotierend vorhanden sind als bei den paramagnetischen Substanzen; oder man kann annehmen, dass die Richtbarkeit der Bahnebenen bei den ferromagnetischen Substanzen grösser ist als bei den paramagnetischen. Bei beiden Anschauungen wird also jedenfalls für den ferromagnetischen Zustand eine freiere Beweglichkeit von gewissen Elektronen angenommen, sei es durch freiere Rotation, sei es durch freiere Richtbarkeit der Bahnebenen, oder eine Vermehrung der Anzahl dieser freier beweglichen Elektronen. Von diesen Ueberlegungen ausgehend hatte ich schon lange die Vermutung, dass der ferromagnetische Zustand ceteris paribus vor allem das elektrische Leitvermögen (vergl. die Bemerkungen in meinen „Anfangsgründen der Maxwellschen Theorie verknüpft mit der Elektronentheorie", pag. 83) erhöht erscheinen lassen müsse, gegenüber dem paramagnetischen, und dass der entsprechende Einfluss im Sinne der Elektronentheorie auch auf das thermoelektrische Verhalten seine Wirkung zeigen müsse. Die Bedingung „ceteris paribus" wird im allgemeinen

schwer zu verwirklichen sein. Nur die Heuslerschen Legierungen in ihrem je nach der thermischen Vorbehandlung ganz schwach oder stark ferromagnetischen Zustande werden die Erkennung des Einflusses der Magnetisierbarkeit allein auf andere physikalische, insbesondere auch die eben erwähnten elektrischen Eigenschaften ermöglichen. Ich habe darauf bereits früher hingewiesen und erwähnt, dass Herr F. A. Schulze darauf hinzielende Versuche in Angriff genommen hat. (Diese Sitz.-Ber. 9. Dez. 1908, p. 208, Zeitschr. f. anorg. Chem. **61**, 1909, p. 265.)

Wie Herr F. A. Schulze im folgenden berichten wird, hat er unter Benutzung der von Herrn E. Take an den Heuslerschen Legierungen ermittelten Gesetze der magnetischen Alterung, welche derselbe in seiner Habilitationsschrift veröffentlichen wird, in der Tat gefunden, dass im allgemeinen mit der Entwicklung der Magnetisierbarkeit eine Vermehrung der Leitfähigkeit Hand in Hand geht.

In Bezug auf die Thermokraft entspricht der magnetisierbare Zustand einer freieren Beweglichkeit von Elektronen und zwar wie man jetzt immer mehr annimmt, sind als für sich existierend (oder teilweise frei) in den Metallen nur negative Elektronen anzunehmen. Alsdann wird an der heisseren Berührungsstelle ein Ueberströmen negativer Elektronen von der magnetisierbaren Modifikation ein und derselben Heuslerschen Legierung zu der weniger magnetisierbaren stattfinden, oder der positive Strom fliesst an dieser Stelle von letzterer zu ersterer. Diesen Schluss hat Herr F. A. Schlusse dem Sinne nach für Temperaturen oberhalb etwa 200° im allgemeinen bestätigt gefunden. Die Stellen der Maximal-Werte werden jedoch bei fortschreitender Alterung für die Thermokraft früher erreicht als für die Magnetisierbarkeit. Dazu ist zu bemerken, dass allgemein die Folgerungen der Elektronentheorie für die Thermokraft nur schlecht bestätigt werden, es kommen zuweilen grosse Widersprüche vor zwischen Theorie und Erfahrung.

Eine ausführliche Darlegung dieser Anschauungen soll nicht an dieser Stelle gebracht werden, sondern in dem Bericht über den Magnetismus der Legierungen, auf Aufforderung des Komitees erstattet dem Internationalen Kongress für Elektronik zu Brüssel (September dieses Jahres).

---

Bei meiner eben erwähnten Berechnung der Sättigungswerte der Magnetisierbarkeit, wie ich sie bereits im Jahre 1893 ausgeführt habe, ist nicht berücksichtigt die Wärmebewegung, welche notwendiger Weise und wie auch bereits seit langem angenommen, der Richtung der Molekularmagnete entgegenwirkt. Bei der freien Beweglichkeit der Molekeln, wie sie für die Wärmebewegung in Gasen und Flüssigkeiten anzunehmen ist, wird bei ein und derselben äusseren magnetischen Feldstärke dadurch allerdings der Wert der bei ihr erreichten Magnetisierung um eine Grössenordnung herabgesetzt. Bei derjenigen Vorstellung dagegen, die wir uns von der Wärmebewegung in festen Körpern machen müssen, ist diese Herabsetzung eine geringere, denn die Wärmebewegung in festen Körpern hat man sich vorzustellen als unregelmässige Oszillationen um eine Lage stabilen Gleichgewichtes. Dabei wird man sich zu denken haben, dass im allgemeinen vor allem der Schwerpunkt der Molekel diese oszillatorische Bewegungen ausführt. Durch diese Bewegung allein genommen würde überhaupt noch keine Beeinträchtigung der Richtung der Molekular-Magnete hervorgerufen werden. Vielmehr würde sogar andererseits bei Krystallstruktur bereits die durch die Molekularkräfte hervorgerufene gegenseitige Orientierung der Molekeln auch eine Parallelrichtung der Molekularmagnete hervorbringen. Dazu kommt aber allerdings noch eine andere Bewegung der einzelnen Molekeln, die in einer oszillatorischen Rotation um Achsen bestehen kann, die durch den Schwerpunkt der Molekel hindurchgehen. Diese letztere Art der Wärmebewegung würde in

der Tat einen desorientierenden Einfluss auf die Richtung der Molekularmagnete ausüben. Dieser Einfluss wird indessen nur gering sein, und die Werte der Magnetisierbarkeit, welche ohne ihre Berücksichtigung berechnet werden, können durch diesen Einfluss nur unerheblich herabgesetzt werden.

---

Hierauf hielt Herr F. A. Schulze den Vortrag:

## Die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit und der thermoelektrischen Kraft Heuslerscher Legierungen von Temperatur und Dauer der Alterung.

Wie Herr Professor Richarz in dem vorhergehenden Vortrag auseinandersetzt, ist nach den elektronentheoretischen Vorstellungen im allgemeinen eine Zunahme der Magnetisierbarkeit einer Substanz durch eine freiere Beweglichkeit von Elektronen zu erklären. Dies bedingt wiederum eine Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit; und ferner ein derartiges Verhalten der thermoelektrischen Kraft, dass an der heisseren Lötstelle der positive Strom vom weniger magnetisierbaren Material zum stärker magnetisierbaren fliesst.

Auf Anregung von Herrn Professor Richarz habe ich diese Folgerungen an Heusler'schen Legierungen zu prüfen unternommen.

Es wurde dazu dieselbe Legierung benutzt, an der Herr Dr. E. Take im hiesigen physikalischen Institut die magnetischen Eigenschaften untersucht.

Eine ausführliche Mitteilung der erhaltenen Resultate soll an anderer Stelle erfolgen; es seien vorläufig nur die Hauptergebnisse mitgeteilt, die bei den Alterungstemperaturen 140°, 170°, 184°, 194°, 201°, 214°, 225°, 255°, 300° erhalten wurden.

Die elektrische Leitfähigkeit zeigte stets eine Zunahme mit der Alterungsdauer bis auf etwa das $1\,^1/_2$ fache des ursprünglichen Wertes. Der Endwert wird bei hohen Alterungstemperaturen im allgemeinen erheblich schneller als bei niedrigen erreicht. Doch ergab sich eine besonders langsame Umwandlung bei etwa $225^0$.

Auch die Thermokraft, die stets gegen Kupfer gemessen wurde, zeigte erhebliche Aenderungen. Bei Temperaturen unterhalb etwa $200^0$ nahm sie stets mit der Alterungsdauer zu bis zu einem fast das Doppelte des ursprünglichen betragenden Wertes. Bei Temperaturen über $200^0$ nahm die Thermokraft zunächst bis zu einem Minimum ab, um dann wieder anzusteigen.

Das Verhalten der elektrischen Leitfähigkeit entspricht einigermassen der von Herrn Dr. Take bei hohen Feldstärken gefundenen Abhängigkeit der Magnetisierbarkeit von der Alterungsdauer.

Wie schon in dem voraufgehenden Vortrag von Herrn Professor Richarz erwähnt, zeigen sich die aus der Elektronentheorie sich ergebenden Vermutungen über das Verhalten der Thermokraft bei Temperaturen über etwa $200^0$ im allgemeinen bestätigt, wenn man zum Vergleich die von Herrn Dr. Take bei sehr kleinen Feldstärken ermittelte Abhängigkeit der Magnetisierbarkeit von der Alterungsdauer benutzt. Allerdings sind im einzelnen Abweichungen vorhanden, z. B. tritt das Minimum der Thermokraft früher ein, als das ihr entsprechende Maximum der Magnetisierbarkeit. Die genauen Daten sollen, wie gesagt, einer besonderen Mitteilung vorbehalten bleiben.

Herrn Dr. F. Heusler bin ich für die gütige Ueberlassung der Legierung zu grossem Dank verpflichtet. Herrn Dr. Take danke ich herzlich für die freundliche Hilfe, die er mir stets bereitwilligst bei diesen Versuchen leistete.

Herr F. A. Schulze:

## Bestimmung der oberen Hörgrenze mit der Zahnradsirene.

Die obere menschliche Hörgrenze ist in den letzten Jahren nach den verschiedensten Methoden untersucht worden. Uebereinstimmend hat sich hierbei für das normale Ohr als obere Hörgrenze eine Schwingungszahl von etwa 16000 bis 20000 v. d. pro sec. ergeben. Es liess sich bei allen älteren Versuchen, die teils wesentlich niedrigere, teils sehr viel höhere Schwingungszahlen ergeben hatten, zeigen, dass diese Angaben fehlerhaft waren.[1])

Nur die Resultate eines der ältesten dieser Bestimmungen der oberen Hörgrenze, nämlich vermittelsf der Zahnradsirene von Savart,[2]) standen mit den neueren Ergebnissen in ungelöstem Widerspruch.

Savart benutzte mehrere Zahnräder von verschiedenen Durchmesser und Zahnzahl. Er fand die obere Hörgrenze sehr verschieden je nach dem Durchmesser der Zahnräder. Es ergab sich, dass bei einem Rad von 24 cm Durchmesser und 360 Zähnen die Töne nur bis 3—4000 v. d. rein waren, darüber hinaus schwach wurden und an Reinheit verloren. Bei einem Rad von 48 cm Durchmesser und 400 Zähnen blieben die Töne rein bis 10000 v. d., verloren dann an Stärke und wurden bei 12—15000 v. d. unhörbar. Bei einem Rad von 82 cm Durchmesser und 720 Zähnen endlich hörte man noch Töne von 24000 v. d., wenn auch die Intensität oberhalb 12—15000 gering wurde. Ob noch höhere Töne hörbar waren, liess sich nicht mehr feststellen, da die Umdrehungsgeschwindigkeit nicht weiter gesteigert werden konnte.

---

1) Siehe F. A. Schulze, Beiträge zur Anatomie, etc. des Ohres etc. I. p. 134 151. 1908.

2) F. Savart, Pogg. Ann. 20, p. 290. 1830.

Savart deutet diese Ergebnisse als Abhängigkeit der oberen Hörgrenze von der Tonintensität.

Diese Versuche widersprechen also durchaus den neueren Ergebnissen. Es schien mir daher wünschenswert, diese Versuche zu wiederholen; sie sind seit Savart merkwürdigerweise nicht wieder angestellt worden, so einfach ihre Ausführung auch ist.

Die Versuche wurden mit fünf verschiedenen Zahnrädern ausgeführt. Drei von ihnen, auf einer gemeinsamen Axe befestigt, hatten einen Durchmesser von 10 cm. Die Anzahl der Zähne war 325, bez. 476, bez. 691. Das vierte Zahnrad hatte einen Durchmesser von 20 cm, eine Zahnzahl von 955. Bei dem fünften endlich war Durchmesser bez. Zahnzahl 80 cm bez. 1784.

Die Räder wurden auf der Drehbank befestigt, die elektrischen Antrieb hatte. Die Drehgeschwindigkeit, die durch einen Tourenzähler bestimmt wurde, konnte durch Veränderung des Anlasswiderstandes beliebig variiert werden. Als Anschlaggegenstand diente starkes Kartonpapier oder dünne Holzbrettchen.

Das Ergebnis war bei den vier ersten Zahnrädern für mich als obere Hörgrenze übereinstimmend etwa 16000 bis 17000 v. d. pro sec., also eine Zahl derselben Grössenordnung, wie sie sämtliche neueren Methoden ergeben haben. Die Genauigkeit ist infolge der mannigfachen Nebengeräusche, die hierbei auftreten, nicht so gross wie bei den meisten anderen Methoden. Immerhin liess sich aber die obere Hörgrenze zuverlässig als innerhalb des angegebenen Intervalls liegend feststellen. Besonders überzeugend war es, wenn bei den drei ersten auf derselben Axe befindlichen Zahnrädern, die also schnell nacheinander verwendet werden konnten, die Umdrehungsgeschwindigkeit so reguliert war, dass bei dem Rad mit der mittleren Zahnzahl die Hörgrenze eben erreicht war, sodass man gerade in Unsicherheit war, ob der hohe Ton noch vorhanden war, oder keine Tonempfindung mehr

existierte, so war mit Sicherheit die obere Hörgrenze überschritten, keine Spur einer Tonempfindung vorhanden, wenn man das Kartenblatt an das Zahnrad mit der grössten Zahnzahl anlegte, dagegen ebenso sicher eine Tonempfindung vorhanden, wenn das Kartenblatt an dem Rad mit der kleinsten Zahnzahl anlag.

Bei dem fünften Zahnrad von 80 cm Durchmesser mit 1784 Zähnen (es war nicht wie die anderen Räder durchweg aus Messing, sondern eine Pappscheibe mit einem um die Peripherie gelegten die Zähne tragenden Messingring) war kein sicheres Ergebnis zu erzielen. War nämlich hier bei Steigerung der Tourenzahl der Ton bis etwa 10000 v. d. gekommen, so entstand bei weiterer Erhöhung der Tourenzahl neben diesem Ton ein zweiter wesentlich tieferer (ungefähr eine Oktave) Ton, der bei noch steigender Umdrehungsgeschwindigkeit ebenfalls in die Höhe ging, schnell an Intensität zunahm und dann bald so laut wurde, dass er den ersten, eigentlichen Ton überdeckte, sodass es nicht möglich war, zu ermitteln, wann der erste Ton nicht mehr gehört wurde.

Jedenfalls haben aber die vier ersten Zahnräder das sichere Resultat ergeben, dass die obere Hörgrenze etwa bei 17000 v. d. liegt.

Woher der störend auftretende tiefere Ton bei dem grossen fünften Zahnrad stammt, habe ich nicht ermitteln können.

Es ist vielleicht nicht ausgeschlossen, dass Savart ebenfalls durch solche Nebentöne getäuscht ist; allerdings ist schwer einzusehen, wodurch er zu den niedrigen Zahlen der oberen Hörgrenze bei einigen Zahnrädern gelangt ist.

Ich möchte glauben, dass die vorstehenden Versuche wieder für meine mehrfach ausgesprochene Vermutung sprechen, dass die obere menschliche Hörgrenze bei circa 18000 v. d. liegt, ziemlich unabhängig von der Intensität, sobald diese nur einen gewissen Minimalwert überschreitet; die Zahl 18000 v. d. hat sich nun schon nach den mannig-

fachsten Methoden, bei denen die Intensitäten sicher erheblich untereinander variierten, als obere Hörgrenze ergeben.

Jedenfalls scheint mir, dass, wenn ein Einfluss der Intensität vorhanden sein sollte, er nicht sehr erheblich ist, und dass die Hörgrenze bei enormen Intensitäten vielleicht noch um eine Sekunde oder Terze, aber wohl nicht um eine Oktave und darüber, etwa auf 40 000 v. d., gesteigert werden kann.

Es dürften hier Gründe anatomisch-physiologischer Natur vorliegen, die eine Tonwahrnehmung so hoher Schwingungszahl prinzipiell unmöglich machen. Doch können hierüber nur weitere systematische Versuche definitiv entscheiden.

---

Herr F. A. Schulze:

## Ermüdung des Ohres.

Ueber die Ermüdungserscheinungen des Ohres für Tonempfindungen ist bisher noch verhältnismässig wenig bekannt,[1]) namentlich fehlt es hier noch sehr an quantitativen Versuchen. Gelegentlich anderer Untersuchungen, Bestimmung des Elastitätsmoduls gespannter Drähte mittels Longitudinalschwingungen, bemerkte ich folgendes. Ein beiderseits festgeklemmter gespannter Draht werde durch Anreiben mit einem mit Kolophonium bestrichenen Lappen in kräftige Longitudinalschwingungen versetzt. Gleichzeitig möge noch eine in der Nähe befindliche Stimmgabel schwach angeschlagen werden.

1) Siehe hierzu den Artikel „Akustik“ in Nagels Handbuch der Physiologie, Band III, bearbeitet von K. L. Schaefer.

Lässt man nun, während die Stimmgabel tönt, den schrillen Longitudinalton durch Anhalten des reibenden Lappens plötzlich aufhören, und horcht auf den Stimmgabelton, so ist dieser selbst bei gespanntester Aufmerksamkeit eine kurze Zeit lang, etwa $^1/_{10}$ Sekunde, völlig unhörbar. Er steigt danach in der Intensität sehr schnell an und wird dann in normaler Weise weiter gehört. Die Zeit, die zwischen dem plötzlichen Aufhören des Longitudinaltones und dem Wiederempfinden des Stimmgabeltones verstreicht, ist um so länger, je schwächer dieser an und für sich bereits war. Man kann diese Erscheinung wohl nur als Ermüdung des Ohres auffassen. Da es mir scheint, dass hier quantitative Gesetzmässigkeiten feststellbar sind, habe ich Herrn cand. E. Schaefer veranlasst, die Erscheinung weiter zu untersuchen, der zur Zeit diese Versuche in dem psychophysischen Kabinett hier anstellt. Es erheben sich hier ja offenbar eine grosse Anzah interessanter Fragen, z. B. die Abhängigkeit von der absoluten Tonhöhe beider Töne, von ihrem Intervall, ob die Ermüdung bei unisono be- sonders stark ist, wie sie von der Dauer der Einwirkung des ersten Tones abhängt u. s. w.

Ferner berichtete Herr K. Stuchtey über:

## Versuche von Herrn W. Bieber, die Kondensation von Wasserdampf in Gegenwart von Ozon und Stickstoff betreffend.

Bei der Untersuchung der Kondensationserscheinungen von Wasserdampf in Gegenwart von Ozon, welche im hiesigen Physikalischen Institut ausgeführt wurde, war von Herrn Barkow [1]) vermutet und von Herrn Pringal [2]) nachgewiesen worden, dass die freiwillige Kondensation von Wasserdampf in dem von ihnen benutzten ozonisierten Sauerstoff ihren Ursprung in der Verunreinigung des Ozons durch nitrose Gase habe. Um jene freiwillige Kondensation zu beseitigen, ist demnach ein von nitrosen Gasen und, wie man glaubte, auch von Stickstoff freies Ozon notwendig. Herr Pringal versuchte durch stille Entladung im Ozonisator den Stickstoff, der dem benutzten Sauerstoff beigemengt war, zu oxydieren und die Oxydationsprodukte durch verdünnte Natronlauge zu absorbieren, um so ein völlig reines Sauerstoff-Ozon-Gemisch zu erhalten. Er erzielte eine derartige Reinheit des genannten Gases, dass die freiwillige Nebelbildung ausblieb und die erzwungene nur mit gesammeltem Bogenlicht sichtbar war. Nach einigen Entspannungen unterhalb der Jonengrenze wurde dieser Nebel stärker und war schon bei Gaslicht sichtbar. Diese Erscheinung führte Herrn Pringal zu der Vermutung, dass fertiges Ozon im stande sei in Gegenwart von Feuchtigkeit Stickstoff zu oxydieren, da er annehmen zu dürfen glaubte, dass durch die Natronlauge keine Kondensationskerne in das Nebelgefäss gelangen könnten. In der Sitzung der Gesellschaft vom 13. Mai 1908 [3]) sprach Herr Professor Richarz die Ansicht aus, dass, wenn fertiges

1) E. Barkow, Diss. Marburg 1906, pag. 40.
2) E. Pringal, Diss. Marburg 1908, pag. 32.
3) F. Richarz, diese Sitz.-Ber. 1908, pag. 81.

Ozon den Stickstoff wirklich zu oxydieren vermöge, event. Belichtung oder die Anwesenheit von Spuren nitroser Gase erforderlich sei. Diese Fragen sollten auf Veranlassung von Herrn Professor Richarz durch Herrn Bieber im hiesigen Physikalischen Institut der Entscheidung näher gebracht werden.

Bei dem Aufbau der Apparatur, die sich im wesentlichen an die Anordnung des Herrn Pringal anlehnte, wurde auf das sorgfältigste auf Dichtigkeit und Vermeidung von oxydationsfähigen Substanzen geachtet. Um eine solche Reinheit von Kondensationskernen zu erzielen, dass bei beliebig vielen Entspannungen unterhalb der Jonengrenze keine Kondensation mehr eintrat, stellte es sich als notwendig heraus, hinter dem letzten der benutzten Ozonisatoren noch eine zweite Röhre mit Natronlauge einzuschalten. Diese Massnahme gab die Möglichkeit, das Kondensationsgefäss in wenigen Tagen vollkommen zu reinigen, während früher ca. fünf Wochen zur Beseitigung nur der freiwilligen Nebelbildung erforderlich waren.

Bei den angestellten Versuchen wurde gereinigter Stickstoff aus Bomben der Sauerstoffabrik Berlin und nachher auch gereinigte Luft mit fertigem Ozon zusammengebracht. Eine Einwirkung des Ozons auf den Stickstoff liess sich weder ohne noch mit Belichtung fesstellen. Auch ein weiterer Beweis liess sich hierfür erbringen. Nach den obigen Versuchen war die Annahme gerechtfertigt, dass der Stickstoff in den Ozonisatoren nicht vollkommen oxydiert wird, sondern noch ein Teil in das Nebelgefäss gelangt. Um dies zu beweisen, wurde das nur Sauerstoff, Ozon und vermutlich noch Stickstoff enthaltende, aber von Kondensationskernen freie Gas vor dem Nebelgefäss nochmals durch einen Ozonisator geschickt, oder in dem Gefäss selbst durch ein Quarzfenster mit ultraviolettem Licht bestrahlt. Im ersten Falle bildete sich sofort, im zweiten nach kurzer Belichtung mit der Quecksilberbogenlampe ein starker feiner Dunst aus.

Die Möglichkeit, dass Spuren nitroser Gase die Oxydation des Stickstoffs durch fertiges Ozon veranlassen können — sei es, dass sie katalytisch, sei es, dass sie als höhere Oxyde selbst oxydierend wirken — bleibt nach den erwähnten Versuchen noch offen. Zur Untersuchung dieser eventuellen Wirkung der Stickstoffoxyde wurde zunächst weniger gut gereinigte Luft mit fertigem Ozon zusammengebracht. Es bildeten sich im Nebelgefäss freiwillig dicke Nebeltropfen, welche sehr schnell fielen und vermutlich von Stickoxydul herrührten, von welchem ein solches Verhalten zu erwarten ist. Tatsächlich gibt Stickoxydul sowohl mit als auch ohne Beimengung von fertigem Ozon einen freiwilligen, aus relativ grossen, rasch fallenden Tröpfchen bestehenden Nebel, wie später mit reinem Stickoxydul angestellte Versuche zeigten. Ungereinigter Bombenstickstoff gab im Gegensatz zu der atmosphärischen Luft starken feinen Dunst als Zeichen für die Anwesenheit von Stickoxyden.

Das Ergebnis der Versuche lässt sich kurz dahin zusammenfassen: Ozon in statu nascendi — und zwar sowohl im Ozonisator wie auch bei anderen Entstehungsweisen — oxydiert freien Stickstoff; fertiges Ozon oxydiert ihn nicht. Lichteinfluss lässt sich hier nicht feststellen. Auch Stickoxydul, selbst nebelbildend, verhält sich fertigem Ozon gegenüber vollkommen indifferent. Ob Spuren von Stickoxyden die Oxydation von Stickstoff durch fertiges Ozon bewirken können, lässt sich aus den bisherigen Versuchen noch nicht ersehen. Weitere Untersuchungen sollen hier Klarheit schaffen.

---

In der Wahlsitzung wurde der königliche Kurator der Universität, Wirkl. Geh. Ober-Regierungs-Rat Herr Professor Dr. Schmidtmann zum ordentlichen Mitglied gewählt.

Zu ausserordentlichen Mitgliedern wurden in der gleichen Sitzung die Herrn Privatdozenten Dr. Friedrich Flade und Dr. Karl Andrée gewählt.

---

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 6 August 1910


In der ausserordentlichen Sitzung vom 8. August hielten Herr Lohmann und A. Rasche folgenden, durch Demonstrationen erläuterten, Vortrag:

### Ueber eigentümliche Veränderungen der Herztätigkeit bei Warmblütern unter der Einwirkung von Chloroform.

Den Ausgang der vorliegenden Untersuchungen bildete ein Versuch, bei dem in der von Jürgens [1]) näher beschriebenen Weise das Herz einer Taube frei gelegt war, und die Tätigkeit der Vorhöfe und Ventrikel mit Hilfe eines Engelmannschen Doppelhebels registriert wurde. Die Kontraktionen der einzelnen Herzabschnitte waren zunächst vollkommen gleichmässig und regelmässig. Plötzlich setzten rhythmisch auftretende Veränderungen der Vorhofstätigkeit ein, die darin bestanden, dass in ganz regelmässig wiederkehrendem Rhythmus die Grösse der Vorhofskonstruktionen bis zu einem Minimum abnahm und dann wieder bis zu einem Maximum zunahm. Die erreichten Minima und Maxima waren untereinander immer gleich. Wir hatten es also mit rhythmisch auftretenden Schwankungen der Herztätigkeit zu tun, die wir einmal als Tonusschwankungen bezeichnen wollen. Die

1) Jürgens: Ueber die Wirkung des Nervus vagus auf das Herz der Vögel, Pflügers Archiv, Bd. 129, S. 506.

nähere Untersuchung der Ursache dieser Erscheinung ergab, dass für das Auftreten dieser Schwankungen das mit der künstlichen Atmung in die Lungen eingeführte Chloroform verantwortlich zu machen war.

Es wurde daraufhin eine Reihe von Versuchen angestellt, um diese Wirkung des Chloroforms weiter zu untersuchen.

Dabei ergab sich folgendes: Unter der Einwirkung der Chloroformatmung waren die eben beschriebenen „Tonusschwankungen" bei Tauben in bestimmten Stadien der Narkose mit Leichtigkeit zu erhalten. Manchmal erstreckten sie sich nur auf den Vorhof (es wurde immer nur die Tätigkeit eines Vorhofs registriert), manchmal nur auf den Ventrikel. In andern Fällen traten sie gleichzeitig am Vorhof und Ventrikel auf.

Eine weitere physiologisch sehr interessante Erscheinung war die, dass in manchen Fällen unter der Wirkung des eingeatmeten Chloroforms die Vorhöfe ihre Tätigkeit vollständig einstellten, und dass sie für längere Zeit, bis zu einigen Minuten, in absoluter Ruhe verharrten. Dabei arbeiteten die Ventrikel in ungestörtem Rhythmus weiter, und die Zirkulation schien nicht merklich gestört. Es trat auch keine sichtbare Cyanose ein. Da der Rhythmus der Ventrikel absolut nicht verändert erschien, müssen wir wohl annehmen, dass die Kontraktilität der Vorhöfe bis auf null herabgesunken war, dass aber die Reizleitungsfähigkeit in der Vorhofsmuskulatur ungestört blieb. Es wäre das ein Zustand, der sehr an die aufgehobene Kontraktilität bei erhaltenem Reizleitungsvermögen bei der Wasserstarre der Vorhöfe erinnert. Bemerkenswert ist der lange Vorhofsstillstand auch deshalb, weil er die häufig bei der Zirkulation des Blutes überschätzte aber doch unverhältnismässig geringe Wichtigkeit der Vorhofstätigkeit deutlich demonstriert.

Wurde die Chloroformzufuhr zur Lunge abgestellt, so erholte sich das Herz in kurzer Zeit wieder, die „Tonusschwankungen" wurden immer flacher und langsamer, bis sie

ganz verschwanden, auch der in seiner Tätigkeit gehemmte oder stillstehende Vorhof nahm binnen kurzem wieder in der normalen Weise seine Tätigkeit auf.

Die bisher an anderen Tieren (Kaninchen und Hund) ausgeführten Versuche ergaben, dass es sich nicht etwa um spezifische Wirkung des Chloroforms bei Vögeln handelt, sondern dass auch hier Tonusschwankungen und Vorhofsstillstände in analoger Weise wie bei der Taube auftraten.

Einzelheiten sollen durch weitere Untersuchungen, bes. solche am Langendorffschen Herzen, aufgeklärt werden.

Dass bis jetzt die geschilderten Resultate nicht beobachtet sind, hat wohl seinen Grund darin, dass die Herzwirkungen fast immer durch Untersuchung des Blutdruckes festgestellt wurden. Ist diese Methode schon an sich ungeeignet, genau die Veränderungen der Herztätigkeit wiederzugeben, da ja immer Veränderungen des arteriellen Tonus kompensierend eintreten, so muss sie naturgemäss bei feineren Störungen völlig versagen. Gerade diese können aber nicht nur für den Physiologen, sondern auch, wie im vorliegenden Falle, für den Praktiker von grösstem Interesse sein.

Weiter hielt Herr Kutscher den Vortrag:

## Bemerkungen über einige physiologisch wichtige Basen.

I. Das Vorkommen von Guanidobutylamin (Agmatin) im Extraktum Secalis cornuti.

Seit einigen Jahren sind wir in meinem Laboratorium mit der Aufteilung des Mutterkornextraktes beschäftigt. Zuerst veranlasste ich Herrn Rieländer[1]) Versuche in dieser Richtung vorzunehmen. In der Tat gelang es Herrn Rieländer unter Benutzung der von mir zu diesem Zwecke ausgearbeiteten Methoden eine Reihe bisher unbekannter Bestandteile aus dem genannten Extrakt zu isolieren. Von Herrn Engeland und mir[2]) sind die Untersuchungen fortgesetzt worden und wir vermochten aus dem durch Silbernitrat und Baryt fällbaren Anteil mit Hilfe von Pikrolonsäure Guanidobutylamin (Agmatin) in merklicher Menge zu gewinnen. Die sichere Identifizierung dieser Base gelang uns durch Oxydation derselben mit Calciumpermanganat wobei wir Guanidin, Guanidinbuttersäure und Bernsteinsäure als Oxydationsprodukte erhielten. Als wir das Guanidobutylamin bezüglich seiner Wirksamkeit auf den Uterus probten, zeigte sich, dass 1 mg das in 70 ccm Ringerlösung aufgehängte Uterushorn des nicht schwangeren Katzenuterus zur tetanischer Kontraktion brachte.

In die Silberfällungen war ausserdem noch eine Substanz hineingegangen, die starke Tryptophanreaktion gab. Sie liess sich bis zu einem gewissen Grade durch Quecksilbersulfat in schwefelsaurer Lösung von den anderen Körpern abtrennen. Auch sie schien am Katzenuterus starke Kontraktionen auszulösen.

---

1) Diese Sitzungsberichte. Jahrg. 1908, S. 173.
2) Zentralbl. f. Physiologie. Bd. 24, S. 163.

Schon von Rieländer[1]) und vor ihm von Brieger[2]) war aus dem Extrakt. sec. corn. reichlich Cholin gewonnen worden. Auch diese Substanz hatten wir am Katzenuterus geprobt. Das Resultat war aber ein zweifelhaftes gewesen. In vier Versuchen, die wir am jungfräulichen Katzenuterus anstellten, blieb jeder Erfolg aus. Dagegen rief am schwangeren in 70 ccm Ringerlösung aufgehängten Katzenuterus 1 mg vollkommen reines, von Herrn Berlin synthetisch dargestelltes Cholin tetanische Kontraktion hervor.

Wir hatten ausserdem noch Uracil, Gärungsmilchsäure und Bernsteinsäure aus dem Extr. sec. cor. dargestellt. Die Wirkung der genannten Substanzen auf den jungfräulichen Katzenuterus war zweifelhaft und mässig. Ganz unwirksam erwiesen sich Thymin, Methyluracil und Trimethyluracil.

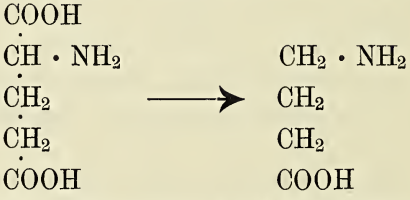
II. Ueber ein methyliertes Aporrhegma des Tierkörpers.

Durch Engeland[3]) wissen wir, dass wir die im Tier- und Pflanzenreich vorkommenden Betaine auf die dem Eiweiss entstammenden Aminosäuren zurückführen müssen. Nun war in letzter Zeit von Takeda in meinem Laboratorium aus dem Harn von Hunden, die mit Phosphor vergiftet waren, ein Betain dargestellt worden, das nach der Konstitutionsermittelung $\gamma$-Butyrobetain $\begin{matrix}(CH_3)_3 \cdot N \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH \\ \qquad\qquad\qquad\quad \dot{O}H\end{matrix}$ sein musste. Es wäre natürlich gewesen dasselbe von der $\gamma$-Aminobuttersäure abzuleiten. Da diese Aminosäure jedoch bisher als Bestandteil des Eiweisses nicht bekannt geworden war, musste eine andere veränderte Aminosäure des Eiweissmoleküls seine Muttersubstanz sein. [Mit dem Namen „Aporrhegma“ bezeichnen Ackermann und ich alle diejenigen Bruchstücke der Aminosäuren des Eiweisses, welche aus diesen auf physiologischem Wege und zwar im Leben der

1) l. c.
2) Brieger, Die Ptomaine. Berlin 1885/86.
3) Diese Sitzungsberichte. Jahrg. 1909, S. 128.

Tiere sowohl wie der Pflanzen entstehen können.] Fäulnisversuche, die Ackermann mit Glutaminsäure anstellte, gaben schliesslich vollkommene Aufklärung über das Aporrhegma, das für die Bildung des von Takeda isolierten $\gamma$-Butyrobetains in Betracht kam. Nach den Versuchen Ackermanns wurde nämlich die Glutaminsäure zum Teil unter Abspaltung von Kohlensäure in $\gamma$-Aminobuttersäure übergeführt.

Die beiden folgenden Formeln zeigen den Vorgang, der sich bei der Fäulnis der Glutaminsäure abspielt.



In derselben Weise muss auch beim Tier zuerst aus der Glutaminsäure, $\gamma$-Aminobuttersäure entstehen, die weiter vom Tiere erschöpfend methyliert wird und in $\gamma$-Butyrobetain übergeht. Um dies endgültig zu beweisen, haben wir die von Ackermann durch Fäulnis von Glutaminsäure erhaltene $\gamma$-Aminobuttersäure erschöpfend methyliert und das erhaltene Betain mit der von Takeda gewonnenen Substanz und synthetischem $\gamma$-Butyrobetain verglichen. Es zeigte sich hierbei zwischen den drei Körpern keine Differenz.

Das $\gamma$-Butyrobetain dessen Bildung im Tierkörper durch Ackermann und uns aufgeklärt war, steht in naher Beziehung zum Carnitin, das nach Engeland[1]) als $\alpha$-Oxy-$\gamma$-Butyrobetain anzusehen ist. Das Carnitin ist danach gleichfalls als Derivat der Glutaminsäure aufzufassen. Im Gegensatz zu Engeland war von Krimberg das Carnitin als $\beta$-Oxy-$\gamma$-Butyrobetain angesprochen. Um Krimberg zu widerlegen hat Engeland die Synthese des $\beta$-Oxy-$\gamma$-Butyrobetains ausgeführt.

1) Ber. d. deut. ch. Ges. **42**, 2457, Jahrg. 1909.

Er ging dabei vom bereits bekannten Chlor-oxy-butyronitril [1]) aus, das er mit Trimethylamin kuppelte. Er gelangte so zum Chlorid des $\gamma$-Trimethylamino-$\beta$-oxybutyronitrils. Durch Verseifung des Nitrils mit einem Gemenge von konzentrierter alkoholischer und wässriger Salzsäure kam er zu dem Chlorid des gewünschten Körpers. Das Chlorid, Aurat und das Platinat des Aethylesters des $\beta$-Oxy-$\gamma$-Butyrobetains wichen in ihrem Verhalten wesentlich von den gleichen Verbindungen des d, l-Carnitins ab.

In ähnlicher Weise wie die Bildung des $\gamma$-Butyrobetains lässt sich auch die Entstehung des Mytilotoxins erklären, das Brieger in giftigen Miesmuscheln fand und für ein Homobetain hält.

1) Dieselb. Ber. **12**, 23, Jahrg. 1879.

Danach hielt Herr Schwantke den Vortrag:

## Vorkommen des gediegenen Eisens im Basalt vom Bühl bei Cassel.

Der Inhalt dieses Vortrages wird gemeinsam mit einer weiteren Mitteilung des Vortragenden über denselben Gegenstand Anfang 1911 in diesen Sitzungsberichten gedruckt werden.

## Aufgelegte Schriften:

Verhandl. Nat.-hist. Verein der preuss. Rheinlande u. Westfalen 1909, I.
Sitzungsber. Nat.-hist. Verein d. preuss. Rheinlande u. Westf. 1909, I.
Verein für Naturkunde Cassel, Bericht 1907—1909.
„Flora", Königl. Sächs. Ges. Botanik u. Gartenbau. Sitzungsberichte u. Abhandlungen 1907—1909.
Verhandl. Naturforsch. Ges. Basel, Bd. XX, Heft 2.
Pollichia, naturw. Verein Bad Dürkheim, LXV, Nr. 24, 1908.
Jahresber. Ges. f. Natur- u. Heilkunde Dresden 1908—1909.
Sitzungsber. u. Abhandl. Isis, naturwiss. Ges. Dresden 1909, I.
93. Jahresber. Naturforsch. Gesellschaft Emden 1907—1908.
Sitzungsber. Naturforsch. Gesellsch. Leipzig, 35. Jahrgang, 1908.
Zeitschr. f. Naturwissenschaften Halle, 81. Band, 4. Heft.
Korrespondenzblatt Naturforscher-Verein Riga LII, 1909.
Leopoldina Halle, Heft XLV, Nr. 11 und 12 und Register, 1909.
U. S. Geol. Survey, Bulletins Nr. 341, 360, 370, 373, 374, 375, 377, 379, 380, 382, 383, 384, 385, 387, 388, 394.
— Water Supply Paper Nr. 224, 228—231, 234.
Davenport Academy, Vol. XII pages 95—222. 1909.
Natural History Survey 1909, Bull. VII Part 1.
American Naturalist, Vol. XLIII Nr. 515, 516.
Univ. Montana, Bull. 53, 54, 58. 1909.
U. S. Dep. Agriculture, Jahrbuch 1908.
Chicago Academy, Vol. III Nr. 1 und 2. 1909.
Missouri Bureau of Geol., Vol. VII, 2. o. J. Vol. VIII, 2; Vol. IX, 1 u. 2.
Univ. Nebraska, Vol. II Nr. 3. 1909.
American Academy, Vol. XLIV Nr. 26; XLV, 1, 2. 1909.
Tufts College Studies, Vol. II Nr. 3. 1909.
American Philos. Soc., Vol. XLVIII Nr. 192. 1909.
California Academy, Vol. III pag. 49—56. 1909.
New York Public Library, Vol. XIII Nr. 11 u. 12. 1909.
Wisconsin Academy Transact., Vol. XVI Part I Nr. 1, 3—6; Vol. XVI Part. II. 1909.
American Ethnology Bureau, Bull. 41 u. 42. 1909.
Harvard College Mus. Comparat. Zoölogy, LII 14, LIII 4. 1909. Annual Report 1908—09.
Geological Survey, Bull. 980 u. 1081, 1035, 1059, 1073, 1085.
Mendel Journal 1909, Nr. 1. London 1909.
Luxemburg, Monatsber. Ges. d. Naturfreunde, Bd. 17 u. 18. 1907, 1908.

# Sitzungsberichte
der
## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften
zu
## MARBURG

№ 7 November 1910

Der Vorsitzende eröffnete die ordentliche Sitzung vom 9. November mit folgendem Nachruf: Seit unserer letzten Sitzung haben wir einen herben Verlust erlitten. Am 17. September ist uns nach langer Krankheit

**Theobald Fischer**

entrissen worden. Er hat unserer Gesellschaft als ordentliches Mitglied seit dem Jahre 1883 angehört und hat stets ein warmes Herz für sie gehabt. Im Jahre 1846 in der Gegend von Zeitz geboren, studierte er in Heidelberg, Halle und Bonn und promovierte 1868 an letztgenannter Universität. Während der nächstfolgenden Jahre war er als Hauslehrer bei dem Baron von Hirsch in Paris tätig, mit dessen Familie er lange Reisen nach Italien, Griechenland, der Türkei und dem Orient unternahm. Hier erst erwachte seine Liebe zur Geographie, und hier erwarb er sich die genaue Kenntnis der Mittelmeerländer, die in der Folgezeit sein Hauptarbeitsfeld werden sollten. 1876 habilitierte er sich für das Fach der Geographie in Bonn. 1879 wurde er als Ordinarius nach Kiel, 1883 nach Marburg berufen. Hier hat er bis an sein Lebensende eine von reichen Erfolgen gekrönte, ihm vielfache Ehrungen und Auszeichnungen eintragende Tätigkeit entfaltet. In den letzten anderthalb

ahrzehnten waren Algerien, Tunis und Marokko das Hauptziel seiner Reisen, und auf einer von diesen hollte er sich den Keim zu der schweren Krankheit, der er jetzt erlegen ist. Fischer war ebenso ausgezeichnet als Forscher wie als Lehrer, dabei ein Mann von glühender Vaterlandsliebe, die nach allen Seiten zu betätigen er nie müde wurde. Manchem von uns ist er ein treuer Freund gewesen; wir alle aber werden ihm stets ein ehrendes Andenken bewahren. Ich bitte Sie, diesem Gefühl durch Erheben von Ihren Plätzen Ausdruck zu geben.

Danach hielt Herr Kutscher den Vortrag:

## Ueber einige Extraktivstoffe.

I. Die Extraktivstoffe aus den Embryonen und der Leber des Dornhais (Acanthias vulgaris).

Im Jahre 1909 veranlasste ich Herrn Dr. Suwa die wasserlöslichen, stickstoffhaltigen Extraktstoffe des Dornhais mit den von mir ausgearbeiteten Methoden näher zu untersuchen, da ich bei dem überaus trägen Stoffwechsel dieser Tiere vermutete, dass sich intermediäre Stoffwechselprodukte finden würden, wie sie von Ackermann und mir[1]) bereits im Krabbenextrakt entdeckt worden waren und welche uns berechtigt hatten eine beträchtliche Aehnlichkeit im intermediären Eiweissstoffwechsel von Kaltblüter und Pflanze anzunehmen. Die Ursache hierfür suchten wir, wie ich in der diesjährigen Maisitzung der Gesellschaft[2]) ausgeführt habe, in der geringen Oxydationsfähigkeit des Kaltblüters, die bedingt ist, durch seine niedrige Temperatur.

Die Ergebnisse, welche Herr Suwa bei seinen Arbeiten erhielt, entsprachen den Voraussetzungen. In der Maisitzung des Jahres 1909 konnte ich[3]) berichten, dass Herr Dr. Suwa aus den Muskeln des Dornhais Betain und Trimethylaminoxyd erhalten hatte. Von den genannten Stoffen war das Trimethylaminoxyd bisher überhaupt nicht als Extraktstoff bekannt geworden, das Betain hingegen hatten Ackermann und ich[4]) schon aus dem Krabbenextrakt dargestellt. Dieser bis dahin scheinbar auf das Pflanzenreich beschränkte und für den intermediären Stoffwechsel der Pflanze überaus charak-

1) Zeitschrift f. Nahrungs- u. Genussmittel, **13**, 180 u. 610, **14**, 687.
2) Diese Sitzungsberichte, Jahrg. 1910, Nr. 3.
3) Diese Sitzungsberichte, Jahrg. 1909, Nr. 4, S. 125.
4) l. c.

teristische Körper hatte uns namentlich bewogen den Stoffwechsel von Tier und Pflanze in weitergehendem Masse, als bisher geschehen war, gleichzusetzen. Das Auffinden des Betains bei einem kaltblütigen Wirbeltiere brachte eine wertvolle Bestätigung unserer Theorie. Leider brach Herr Dr. Suwa seine Untersuchungen ab, bevor er sich über die übrigen Extraktstoffe der Muskeln und anderen Organe des Dornhais unterrichtet hatte, ich habe daher selbst versucht, dieselben nach Möglichkeit zu vervollständigen. Es stand mir allerdings kein Muskelextrakt von Acanthias vulgaris zur Verfügung, aber ich konnte mir etwas grössere Mengen von Embryonen und von der Leber dieser Tiere verschaffen. Ich hatte ca. 1 Kilo Embryonen zur Verfügung und habe in einer früheren Sitzung[1]) berichten können, dass dieselben aussergewöhnlich reich an Betain waren, sie enthielten davon ca. 12 ‰. Inzwischen habe ich auch die anderen wasserlöslichen basischen Extraktstoffe möglichst genau untersucht. Es fand sich Cholin ca. 0,5 ‰, weiter Methylguanidin und Arginin, die nicht quantitativ bestimmt wurden, dagegen fehlte wahrscheinlich Trimethylaminoxyd, während diese Base in den Muskeln des erwachsenen Tieres das Betain an Menge übertraf.

Nach Entfernung der organischen Basen wurde der nicht krystallisierende Rückstand mit Schwefelsäure angesäuert und ausgeäthert. In den Aether ging Fleischmilchsäure und eine gegen Lakmus neutral reagierende Substanz, die nach dem Verjagen des Aethers in feinen Nadeln krystallisierte. Sie war in kaltem Wasser schwer, in heissem Wasser, Aether und Alkohol leicht löslich und infolge dieser Eigenschaften ohne Schwierigkeiten von der anhängenden Milchsäure zu trennen. Aus den Analysenzahlen liess sich die Formel $C_{19}H_{29}N_5O_5$ berechnen. Sie schmolz bei 192—194°. Von Farbenreaktionen lieferte sie starke Diazoreaktion und deut-

1) Diese Sitzungsb., Jahrg. 1910, Nr. 3.

liche Millonsche Reaktion, sodass sich in ihr ein Phenolrest vermuten lässt.

Die Leber erwachsener trächtiger Dornhaie habe ich namentlich auf Betain, Trimethylaminoxyd und Cholin untersucht und die genannten Basen quantitativ dargestellt. Es fand sich darin ca. 0,7 ‰ Betain, 0,3 ‰ Cholin. Trimethylaminoxyd hingegen fehlte, diese Base scheint sich also auf die Muskeln des Dornhais zu beschränken. In den Aetherextrakt ging reichlich die gleiche stickstoffhaltige Substanz, die auch aus den Embryonen erhalten wurde. Ihre Eigenschaften habe ich bereits oben erwähnt.

Die Ausbeuten an Betain und Cholin, die aus den verschiedenen Organen des Dornhais erhalten wurden, stelle ich der besseren Uebersicht wegen tabellarisch zusammen. In die gleiche Tabelle füge ich die Ausbeuten an Betain, die Scheibler für junge und alte Runkelrüben (Beta vulgaris) angibt.

| | Ausbeute an Betain | Ausbeute an Cholin |
|---|---|---|
| In den Muskeln von Acanthias v. | 0,7 ‰ | — |
| „ der Leber „ „ „ | 0,7 „ | 0,3 ‰ |
| „ den Embryonen „ „ | 12,0 „ | 0,5 „ |
| In alten Runkelrüben | 1,0 „ | — |
| In jungen Runkelrüben | 2,5 „ | — |

Ein Blick auf die Tabelle lässt zunächst bei dem untersuchten Tier und der Pflanze insoweit eine auffallende Aehnlichkeit bezüglich des Verhaltens des Betains erkennen als bei Acanthias v. und Beta v. das Betain in der Jugend sehr reichlich vorhanden ist, um mit zunehmendem Alter zu verschwinden. Wir müssen daher wohl das Betain als stickstoffhaltigen Reservestoff ansehen, der in früher Jugend gebildet und später im Stoffwechsel des wachsenden Tieres verwandt wird.

Noch in einer anderen Beziehung bietet die Tabelle Interesse. Sie zeigt, dass die frühere, durch Engeland widerlegte Annahme, nach der das Betain vom Cholin abzuleiten und als Oxydationsprodukt desselben anzusehen ist,[1]) nicht gut zutreffen kann. Denn beständen in Wirklichkeit Beziehungen zwischen diesen beiden Substanzen, dann müssten die Mengenverhältnisse einander entsprechen, also in einem Organ, das viel Betain enthält sich auch viel Cholin nachweisen lassen. In der Tat aber ist der Gehalt an Cholin in den Embryonen, die überaus reich an Betain sind, und in der an Betain armen Leber annähernd derselbe.

II. Die Extraktivstoffe des Champignons (Agaricus campestris).

Die chlorophyllfreien Pflanzen stehen den Tieren bezüglich ihres Stoffwechsels deshalb nahe, weil sie wie die Tiere ihre Leibessubstanz nicht aus einfachen anorganischen Stoffen aufzubauen und zu erhalten vermögen. Aus diesem Grunde muss sich der Stoffwechsel der chlorophyllfreien Pflanzen dem der Tiere näheren und so sehen wir denn auch wirklich einige höherstehende Pilze Harnstoff erzeugen, der das hauptsächlichste Endprodukt des Eiweissstoffwechsels der Tiere ist. Mir bot sich durch das Entgegenkommen der Firma Krewel die Gelegenheit die Extraktivstoffe des Champignons zu untersuchen, davon habe ich bisher die basischen Körper dargestellt.

Es liessen sich geringe Mengen Purinbasen, weiter Arginin, Cholin und Betain isolieren. Weiter erhielt ich eine in mancher Beziehung merkwürdige Base für die sich die Formel $C_9 H_{15} N_3 O_2$ berechnen liess. Dieselbe gab intensive Diazoreaktion, während die Millonsche Reaktion und die Tryptophanreaktion negativ ausfielen. Dieses Verhalten scheint dafür zu sprechen, dass es sich um ein dreifach methyliertes Histidinderivat handelt. Das schön krystallisierende, ziemlich schwer lösliche Goldsalz schmilzt bei 180—182 °.

1) Fr. Czapek, Biochemie der Pflanzen. Bd. II, S. 186.

Weiter hielt Herr Berlin folgenden Vortrag:

## Die Synthese des γ-Homocholins.

Im Jahre 1905 isolierte Kutscher[1]) aus Liebigs Fleischextrakt eine bisher unbekannte Base, er nannte sie Neosin und vermutete in ihr das nächst höhere Homologe des Cholins. Zwei Jahre später wurde von ihm in Gemeinschaft mit Ackermann[2]) aus dem sogenannten Krabbenextrakt derselbe Körper erhalten und die Annahme das Neosin wäre Homocholin wurde noch bestärkt, da es durch Destillation mit Baryt gelang, aus dem Neosin Trimethylamin[3]) abzuspalten. Das Neosinchlorid drehte die Ebene des polarisierten Lichtes nicht, es kam daher für dasselbe nur ein Homocholin mit dem Hydroxyl in γ-Stellung zum Stickstoff in Frage

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot NOH(CH_3)_3 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

da die beiden möglichen β-Homocholine ein asymmetrisches Kohlenstoffatom im Molekül enthalten. Um die Frage endgültig zu lösen, ob dem Neosin wirklich die obige Struktur zukommt, musste ich mir synthetisches γ-Homocholin in grösserer Menge darstellen. Ueber synthetische Homocholine lagen schon einige Arbeiten vor, so hatte 1880 Morley[4]) ein β-Homocholin dargestellt, dem er die Struktur

---

1) Zentralblatt für Physiologie. 1905. Bd. XIX, Heft 15. Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genussmittel. Bd. 10, S. 533.

2) Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genussmittel. Bd. 14, S. 690.

3) Hoppe Seylers Zeitschrift. Bd. 56, S. 220.

4) Comptes rendus. Bd. XCI, 333. Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft. Bd. XIII, S. 1805.

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CH \cdot N(CN_3)_3 \\ | \quad Cl \\ CH_2OH \end{array}$$

zuschrieb.

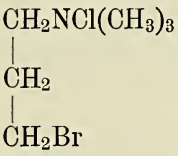
Ueber $\gamma$-Homocholin hatte Weiss[1]) und Partheil[2]) gearbeitet. Beide Forscher gingen vom Trimethylenbromid aus das sie mit Trimethylamin kuppelten. Aus dem Reaktionsprodukt erhielten sie schliesslich ein Goldsalz, dessen Analysenwerte zu einem Homocholin stimmten. Das Aurat schmolz bei 163°. Mir erschien ihre Annahme, das $\gamma$-Homocholin erhalten zu haben, nicht ganz einwandfrei und ich suchte daher nach einer einfacheren und eindeutigen Synthese dieses Körpers. Der Weg war durch die Wurtzsche Cholinsynthese[3]) gegeben, wie dieses als Chlorid aus Aethylenchlorhydrin und Trimethylamin entsteht, so musste auch ganz analog aus Trimethylenchlorhydrin und Trimethylamin das nächst höhere Homologe sich bilden. In der Tat erhielt ich sehr leicht auf diese Weise eine Verbindung, die sofort als Goldsalz die richtigen Analysenwerte lieferte. Es schmolz bei 193°. Die bei weitem schwierigere und zeitraubendere Arbeit der Darstellung der zum Vergleiche nötigen Menge Neosin hielt meine Publikation hierüber zurück. Inzwischen haben Malengreau und Lebailly[4]) auf ganz ähnliche Weise das $\gamma$-Homocholin hergestellt. Ihr Goldsalz schmolz aber bei 183°, ebenso zeigte ihr Platinat und das meinige eine Differenz im Schmelzpunkt. Aus diesem Grunde sah ich mich nach einer weiteren Synthese um. Im Jahre 1888 hat Gabriel[5]) und Weiner den $\beta$-Amino-propylalkohol dargestellt

$$CH_2OH — CH_2 — CH_2NH_2$$

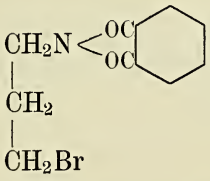
1) Zeitschrift für Naturwissenschaft. Bd. 60, S. 276.
2) Annalen der Chemie. Bd. 268, S. 152ff.
3) Annalen Suppl. 6, S. 116.
4) Hoppe Seylers Zeitschrift. Bd. 67, S. 35ff.
5) Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft. Bd. XXI, S. 2671.

bei erschöpfender Methylierung dieses Körpers musste man nun ebenfalls zum $\gamma$-Homocholin gelangen. Ich stellte mir daher diesen Alkohol her und erhielt nach seiner erschöpfenden Methylierung schliesslich ein Aurat, dessen Analyse die Werte für Homocholin ergab, es schmolz aber genau wie das Partheilsche bei 163°.

Welche Verbindung nun wirklich die $\gamma$-Struktur besitzt, hoffe ich in Kürze durch die Oxydation zu entscheiden. Heute möchte ich nur bemerken, dass wohl eine ganz gleichartige Umlagerung bei der Darstellung des Partheilschen und des aus dem Aminoalkohol erhaltenen Homocholins auftreten kann, denn Partheil gelangt zu seinem Homocholin, indem er durch achttägiges Kochen mit Silbernitrat im $\gamma$-Monobrompropyltrimethylammoniumchlorid



das Brom durch die Hydroxylgruppe ersetzt, und ich stellte nach Gabriel den $\beta$-Amino-propylalkohol dar, indem ich durch Kochen mit Schwefelsäure den $\gamma$-Brompropylphtalimid spaltete und das Brom durch die Hydroxylgruppe ersetzte.



Es lag nahe anzunehmen, dass bei beiden Verbindungen nicht das Brom einfach durch Hydroxyl ersetzt würde, sondern dass zunächst Bromwasserstoff abgespalten würde, dann Wasser angelagert worden wäre und zwar so, dass jetzt das Hydroxyl in $\beta$ Stellung zum Stickstoff getreten wäre, das

heisst das Goldsalz mit dem Schmelzpunkt 163° müsste also das β-Homocholinaurat sein mit der Struktur

$$\begin{array}{l} CH_2NCl(CH_3)_3 \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

dieses Homocholin haben aber Malengreau und Lebailly[1]) aus Propylenchlorhydrin und Trimethylamin dargestellt und geben den Schmelzpunkt des Aurates mit 197° an.

Gleichzeitig möchte ich auch einen Irrtum dieser beiden Autoren berichtigen. Sie nehmen nämlich an, dass sie das genannte β-Homocholin zuerst dargestellt haben. Nun hat, wie vorher erwähnt, Morley auch schon ein β-Homocholin in den Händen gehabt. Bei genauer Durchsicht der Litteratur[2]) zeigt sich, dass nach seinen eigenen späteren Angaben es sich um das gleiche β-Homocholin gehandelt hat, das Malengreau und Lebailly beschreiben.

Bei der Synthese des Homocholins aus dem Aminopropylalkohol fand ich als Nebenprodukt Hexamethyltrimethylendiaminchlorid

$$(CH_3)_3N \cdot \underset{Cl}{CH_2} - CH_2 - CH_2 \cdot \underset{Cl}{N(CN_3)_3}$$

1) l. c.

2) Oser. Annalen Suppl. 1 S. 254. Oppenheim Annalen Suppl. 6 S. 369. Morley. l. c. und Morley und Green Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft. XVIII, S. 24.

Es sprach weiter Herr F. Schenck:

## Ueber Zuckungssummation bei verschieden starken Reizen

(nach Versuchen von Herrn Medizinalpraktikanten Ph. Brömser).

Das wichtigste Ergebnis der Versuche ist folgendes: Wenn bei der Summation von Zuckungen des Froschskelet-muskels auf einen für Einzelreizung maximalen Reiz ein solcher folgt, der für Einzelreizung submaximal ist, so kann letzterer bei gewisser Stärke doch schon denselben Summationseffekt erzielen, als wenn der zweite Reiz auch ein maximaler wäre. Im Verlauf der Summation von mehreren (bis zu vier) Zuckungen ist die submaximale Reizung, die als letzte einwirkend maximalen Summationseffekt hervorruft, um so schwächer, je mehr Reizungen schon vorausgegangen sind. Die Erregbarkeit des Froschmuskels wird also für die folgenden Reize dnrch die vorausgegangenen Reize gesteigert. Nähere Mitteilungen werden in der demnächst erscheinenden Dissertation des Herrn Brömser gemacht werden.

In derselben Sitzung sprachen die Herren Alfred Lohmann und August Rasche über:

**Aufhebung der normalen Ursprungsreize des Herzens bei Chloroformatmung.** (Mit Demonstrationen.)

In der Sitzung der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften vom 8. Aug. 1910 berichteten wir über bestimmte Veränderungen der Herztätigkeit unter der Einwirkung von eingeatmeten Chloroform. Diese Veränderungen bestanden einmal in langandauernden Vorhofstillständen, sodann in rhythmisch in regelmässiger Folge wiederkehrenden Vergrösserungen und Verkleinerungen der Kontraktionsgrösse der einzelnen Herzabschnitte, die wir als eine Art rhythmischer Tonusschwankungen bezeichnet hatten. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen stiessen wir nun auf eine andere eigentümliche Chloroformwirkung, die imstande ist, einen grossen Teil der bisher beobachteten Veränderungen und Störungen der Herztätigkeit zu erklären.

Entfernt man bei einer Schildkröte (Emys Europaea) den Bauchpanzer, legt das Herz frei und verbindet zur Registrierung Vorhof und Ventrikel mit dem Engelmann'schen Doppelhebel, so zeigt sich die normale Schlagfolge: Vorhofkontraktion, Ventrikelkontraktion ($A_s$, $V_s$). Die Beobachtung zeigt, dass der Vorhofkontraktion noch eine solche der Venen vorangeht. Bringt man jetzt durch ein Atmungsgebläse Chloroformdämpfe enthaltende Luft in die Lungen des Tieres, so kehrt sich plötzlich die Schlagfolge der einzelnen Herzabteilungen um; das Herz schlägt jetzt im Rhythmus $V_s, A_s$. Die Ausmessung des zeitlichen Abstandes zwischen dem Beginne von $A_s$ und $V_s$ weist darauf hin, dass jetzt die Kontraktionen von der Region des Tawara'schen Knotens (im His'schen Bündel) ausgehen. Die Beobachtungen der in die

Vorhöfe mündenden Venen ergibt, dass diese sich jetzt nicht mehr kontrahieren. Ist das Chloroform wieder aus dem Blute entfernt, so schlägt der Rhythmus der Herzaktion wieder in den normalen um. Bei neuer Chloroformzufuhr erhält man wieder den umgekehrten Rhythmus u. s. f.

Es handelt sich also bei den Versuchen um eine Ausschaltung (wohl durch Lähmung) der normalen im Gebiete der Veneneinmündungen entstehenden Herzreize. Das Herz würde stillstehen, wenn nicht sogleich die ebenfalls mit hochgradiger automatischer Befähigung ausgestatteten Brückenfasern (His'sches Bündel) in Tätigkeit träten und jetzt ihrerseits Reize an Ventrikel und Vorhöfe abgäben.

Diese Beobachtung kann natürlich auch von weittragender praktischer Bedeutung werden. Sichergestellt ist, dass die normalen Herzreize ausgeschaltet werden. Ob immer die Tätigkeit der Brückenfasern vikariierend eintritt und Herzreize abgibt, ist zum mindesten zweifelhaft. Weiterhin ist es sehr leicht möglich, dass schwere Zirkulationsstörungen eintreten, wenn das Herz unter den ungünstigen Verhältnissen im umgekehrten Rhythmus schlägt.

Aufgelegte Schriften:

Att. reale Accad. Lincei 1909, Nr. 9—11. Roma 1909.
Bullet. Soc. Géol. Belgique, 1. 33. Octob. 1908. Liège 1909.
Parergones Instit. Geolog. Mexico, III, 2. Mexico 1909.
Bullet. Soc. Imp. Natural. Moscou 1908, Nr. 1 u. 2. Moskau 1909.
Bullet. Acad. imp. Sc. St. Pétersbourg 1909, Nr. 15—18. St. Petersburg 1909.
Trav. Musée géol. Pierreb. Gr. (Acad. St. Pétersb.) II, 1908, 6 u. 7; III, 1909, 1. St. Petersburg 1909.
Bref och Skrifvelser Carl v. Linné, utgifna af Upsala Univers. sitet. I, 3. Stockholm 1909.
Arkiv för Matem., Astron. och Fysik. Svenska Vet. Akad. Stockholm, Bd. V, 3—4. Stockholm 1909.
Arkiv för Botanik, Bd. 9, 1. Stockholm 1909.
Arkiv för Zoology, Bd. 5, 4. Stockholm 1909.
Arkiv för Kemi, Miner., Geol., Bd. 3, 3. Stockholm 1909.
Acta Societ. pro fauna et flora Fennica, Bd. 24 u. 32. Helsingf. 1908.
Meddelanden Societ. pro fauna et flora Fennica, Heft 35 (1908—09).
Acta Societ. Scientiarum Fennica, Tom XXXV, 1—10, Minnestat. XXXVI, 1—4; XXXVII, 5—8.
U. S. Geol. Survey, Professional Paper Nr. 64, 66, 67.
Bulletin Nr. 389, 392, 393, 395, 399, 401—403.
Water Supply Nr. 232, 235, 242.
Museum of comparative zoology Harvard College,
Bulletin Vol. LIV Nr. 1.
Memoirs Vol. XXXIV Nr. 3.
Academy of Nat. Sc. Philadelphia, Vol. LXI, Part II. 1909.
American Academy of Arts and Sciences, Vol. XLV Nr. 3.
U. S. Naval Observatory. Synopsis 1909.
American Naturalist, Vol. XLIV Nr. 517.
Dep. of Mines, Nr. 973. Catalogue of Canad. Birds.
Entomologisk Tidskrift 1909, Heft 1—4.
Crustacea of Norway, Vol. V Parts XXVII u. XXVIII. 1909.
Atti della Reale Ac. de Lincei 1909, vol. XVIII Heft 12 u. Index.
K. k. geol. Reichs-A. Verhandlungen 1909, Nr. 10—14.
Bull. Acad. Imp. Sciences 1910, Nr. 1 (VI. Serie).
Sächs.-Thür. Verein f. Erdkunde, Halle 1903, 33. Jahrgang.
Leopoldina, Halle 1910, Heft XLVI Nr. 1.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 8 November 1910


In der ausserordentlichen Sitzung vom 30. November hielt Herr F. A. Schulze den Vortrag:

### Messung der Wärmeleitfähigkeit von kurzen dünnen Metalldrähten nach der Methode von F. Kohlrausch.

Die eleganteste und zugleich genaueste Methode zur Bestimmung der inneren Wärmeleitfähigkeit von Metallen ist wohl die von F. Kohlrausch[1]) angegebene, von W. Jaeger und H. Diesselhorst[2]) in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgearbeitete und in überaus sorgfältigen Messungen an einer grossen Reihe von Metallen erprobte Methode, welche den elektrischen Strom zur Wärmeerzeugung benutzt.

Es wird dabei das zu untersuchende Metall in Stabform von einem konstanten elektrischen Strom durchflossen; findet keine Wärmeabgabe nach aussen statt, so tritt die erzeugte Stromwärme nur durch die Enden aus, welche sich in Bädern von konstanter Temperatur befinden. Nach Erreichung des

---

1) F. Kohlrausch, Tätigkeitsber. d. Phys.-Techn. Reichsanst. für 1897. Zeitschr. f. Instr.-Kde. **18**, S. 139, 1898. Sitz.-Ber. Berl. Akad. **38**, S. 711, 1899. Ann. d. Phys. (4) **1**, S. 145, 1900. Siehe auch Lehrb. d. Prakt. Physik, 11. Auflage, S. 212, 1910.

2) W. Jaeger und H. Diesselhorst, Wiss. Abh. der Phys.-Techn. Reichsanst. III, 269, 1900.

stationären Zustandes wird die Differenz $U$ der Temperatur der Mitte des Stabes gegen zwei gleich weit entfernte Punkte, sowie der Spannungsunterschied $V$ zwischen diesen beiden äusseren Punkten gemessen. Ist $\varkappa$ das elektrische in Ohm $^{-1}$ cm $^{-1}$ gemessene elektrische Leitvermögen, $\lambda$ des thermische Leitvermögen — als Wärme-(Arbeits-)Einheit die Wattsekunde angenommen — so ist, wenn $V$ in Volt gemessen wird, $\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V^2}{8\,U}$. Multiplikation mit dem Verhältnis der Wattsekunde zur gr-Kalorie, 0,239, gibt $\lambda$ in dem üblichen Masssystem. Durch gleichzeitige Messung der Stromstärke $i$ in Ampère, des Abstandes $2l$ der beiden äusseren Punkte und des Stabquerschnittes $q$ in cm bez. qcm wird gleichzeitig erhalten $\varkappa = \frac{2il}{Vq}$.

So einfach diese Methode im Prinzip ist, so ist sie doch seitdem erst in der allerletzten Zeit wieder benutzt worden. Der Grund hierfür ist wohl in erster Linie darin zu suchen, dass bei diesen Bestimmungen Stromstärken von etwa 80—100 Ampère längere Zeit hindurch nötig waren. Ausserdem müssen, da die Temperaturen mit Thermoelementen gemessen wurden, die in Durchbohrungen der Stäbe angebracht werden, Stäbe von ziemlich erheblichen Dimensionen verwendet werden, sodass z. B. für seltene Metalle grosse Kosten entstehen, wenn nicht überhaupt wegen grosser Härte, die die Durchbohrung unmöglich macht, die Ausführung der Bestimmung unterbleiben muss.

Es lässt sich nun diese Methode auch auf die Bestimmung der Wärmeleitung von sehr dünnen kurzen Metalldrähten anwenden, wenn nur die Messung der Temperatur auf dem Drahte anstatt durch Thermoelemente, die ja dann natürlich nicht möglich ist, durch eine andere Methode der Temperaturmessung ersetzt wird.

Diese muss so beschaffen sein, dass sie den normalen Temperaturverlauf im Drahte nicht stört.

Als solche hat sich nun als vortrefflich geeignet erwiesen die Schmelzung eines dünnen auf den Draht aufgestrichenen Ueberzuges aus einer nichtleitenden Substanz, in ähnlicher Weise wie es zur Darstellung von Isothermen von Senarmont, W. Voigt [1]) und zur Demonstration mit thermoskopischen Substanzen von F. Richarz [2]) benutzt ist.

Seines verhältnismässig niedrigen und scharfen Schmelzpunktes wegen (44 °), wurde hier die von W. Voigt angegebene Elaidinsäure benutzt; ausserdem auch die bei 30 ° schmelzende Caprinsäure. Die Enden des zu untersuchenden Drahtes wurden in zwei Kupferbacken eingeklemmt, deren jede an die eine Seitenwand eines aus 1 mm starken Kupferblech angefertigten Würfels von 10 cm Kantenlänge angelötet war; die beiden Hohlwürfel wurden bis zum Rand mit Wasser gefüllt. An die beiden Würfel waren je zwei Klemmschrauben angelötet. Von einigen Akkumulatoren wurde ein elektrischer Strom durch einen fein regulierbaren Widerstand, ein Ampèremeter und durch den Draht geschickt. Die beiden noch freien Klemmschrauben der Kupferwürfel wurden mit einem Voltmeter verbunden. Die Stromstärke wurde dann so reguliert, dass die aufgestrichene Substanz eben in der Mitte des Drahtes, die ja die wärmste Stelle ist, zu schmelzen begann. Es zeigte sich, dass diese Stromstärke mit sehr grosser Genauigkeit und Schärfe bestimmt werden konnte. Die Temperatur $\vartheta_1$ dieser Stelle des Drahtes ist dann gleich der Schmelztemperatur der Elaidinsäure, 44°. Ferner ist die Temperatur $\vartheta_2$ der Enden des Drahtes an der Stelle, wo sie in die Backen eingeklemmt sind, als gleich der Temperatur dieser Backen, oder auch derjenigen des Wassers in den Würfeln anzunehmen, die mit an die Backen

---

1) W. Voigt, Wied. Ann. **64**, 95, 1898.

2) F. Richarz, Marburger Sitz.-Ber. 1905, pag. 93; O. Hess, Inaug.-Diss. Marburg 1906.

angelöteten Thermoelementen bezw. in das Wasser getauchten Thermometern gemessen wurde. Es ist dann $\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V^2}{8(\vartheta_1 - \vartheta_2)}$.

Infolge der äusseren Wärmeleitung erhält man einen zu hohen Wert; ihr Einfluss wurde nicht wie bei Jaeger und Diesselhorst durch besondere Versuche ermittelt, sondern in einfachster Weise dadurch eliminiert, dass man die Längen des Drahtes successive verkürzte und jedesmal $\frac{\lambda}{\varkappa}$ bestimmte, solange bis bei einer weiteren Verkürzung die Werte von $\frac{\lambda}{\varkappa}$ merklich konstant blieben. Man ist so ganz unabhängig von dem Gesetz, nach welchem die äussere Wärmeleitung vor sich geht. Da der Einfluss der äusseren Wärmeleitung von $\frac{l^2}{r}$ abhängt, so wird er bei Verringerung von $l$ und $r$ in gleichem Verhältnis immer geringer, je kleiner der Absolutwert von $l$ ist.

Auch insofern sind Drähte zweckmässiger als Stäbe, als wieder bei Verringerung von $l$ und $r$ in gleichem Verhältnis, zur Erreichung derselben Temperaturdifferenz der Mitte gegen die Enden bei kleinem Absolutwert von $r$ eine viel kleinere Stromstärke nötig ist, als bei grossem; es ist nämlich

$$i = \frac{\pi r^2}{l} \sqrt{2\lambda\varkappa} \cdot \sqrt{\vartheta_1 - \vartheta_2}.$$

In der angegebenen Weise wurden zunächst Drähte aus Kupfer, Nickel, Messing, Konstantan, Manganin, Platin untersucht. Die ausführlichen Versuchsreihen sollen demnächst an anderer Stelle mitgeteilt werden. Es seien hier nur die Werte angegeben, die für $\frac{\lambda}{\varkappa}$, für etwa $25^0$, erhalten wurden. Die in Klammern beigefügten Werte sind die von Jaeger und Diesselhorst, für $18^0$, angegebenen.

| Metall | $\frac{\lambda}{\varkappa} \cdot 10^8$ | |
|---|---|---|
| Kupfer | 680 | (670) |
| Nickel | 788 | (699) |
| Messing | 789 | |
| Konstantan | 1110 | (1106) |
| Manganin | 922 | (914) |
| Platin | 801 | (775) |

Das Nickel war, wie aus der elektrischen Leitfähigkeit zu erkennen war, sicher etwas unrein. Die erforderlichen Stromstärken lagen zwischen 1—10 Ampère. Die benutzten Drahtlängen waren nur 1—2 cm, die Durchmesser zwischen 0,20 mm (bei Kupfer) und 0,75 mm (Konstantan).

Die Methode erfordert also in dieser Modifikation nur äusserst geringe Substanzmengen, wenige Centigramm, kann also auch auf sehr kostbare Substanzen angewandt werden; sie soll zunächst zur Messung der Wärmeleitung der seltenen Metalle, Platin, Iridium etc. und ihrer Legierungen benutzt, sowie auch für höhere Temperaturen ausgearbeitet werden.

Die Genauigkeit ist recht erheblich; ich schätze sie auf etwa 2 %. Natürlich kann und soll sie sich an Genauigkeit nicht mit den sorgfältigen Messungen der Herren Jaeger und Diesselhorst vergleichen, sondern nur da als Ersatz eintreten, wo dieses Verfahren aus irgend einem Grunde nicht ausführbar ist.

Eine weitere Möglichkeit, die maximale Temperaturerhöhung des Mittelpunktes des Drahtes gegenüber der Temperatur an den Enden zu messen, besteht in der Bestimmung des elektrischen Widerstandes des Drahtstückes. Ist $x = 0$ die Mitte des Drahtes, $U$ die Temperatur dieser Stelle, und wird als Nullpunkt der Temperatur die konstante Temperatur der Enden genommen, so ist, wenn die Veränderlichkeit von

$\lambda$ und $\varkappa$ mit der Temperatur nicht berücksichtigt wird, die Temperatur an einer beliebigen Stelle $x$ des Drahtes $\vartheta = U\left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)$. Es sei $\alpha$ der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes, $\omega_0$ der spezifische Widerstand bei $0^0$, $q$ der Querschnitt des Drahtes. Der Gesamtwiderstand des Drahtes ist dann

$$W = \int_{-l}^{l} \frac{\omega_0}{q}\left[1 + \alpha U\left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)\right]dx.$$

Dies gibt, wenn wir mit $W_0$ den Gesamtwiderstand bei $0^0$, also bei sehr geringem Strom, bezeichnen:

$$W = W_0\left(1 + \alpha \cdot \frac{2}{3}U\right).$$

Der Widerstand ist also so gross, als wenn der ganze Draht gleichmässig die Temperatur $\frac{2}{3}U$ hätte. Aus der angegebenen Gleichung folgt noch $U = \frac{3}{2\alpha}\frac{W - W_0}{W_0}$, und mithin

$$\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V^2}{8U} = \frac{V^2\alpha}{12}\frac{W_0}{W - W_0}.$$

Bei der grossen Genauigkeit, mit der Widerstände und namentlich relative Widerstandsänderungen, auf die es ja hier nur ankommt, gemessen werden können, ist diese Methode recht exakt. Die relative Widerstandsänderung ist im allgemeinen nicht unerheblich. Für $U = 30^0$, $\alpha = 0{,}004$ beträgt sie $8\,\%$.

Natürlich muss man sich durch Messung bei verschiedenen Längen, wie oben angegeben, davon überzeugen, dass der Einfluss der äusseren Wärmeleitung zu vernachlässigen ist.

Will man sich von der Messung von $W_0$ frei machen, was von Vorteil sein kann, so kann man so verfahren, dass man die Widerstände $W_1$ und $W_2$ bei zwei verschiedenen Stromstärken $J_1$ und $J_2$ misst, denen also auch verschiedene Werte

von $V$, $V_1$ und $V_2$, entsprechen. Es gilt dann

$$\left.\begin{aligned} W_1 &= W_0\left(1+\frac{2}{3}\alpha U_1\right) \\ W_2 &= W_0\left(1+\frac{2}{3}\alpha U_2\right) \end{aligned}\right\}, \text{ also } W_2 = W_1\frac{1+\frac{2}{3}\alpha U_2}{1+\frac{2}{3}\alpha U_1}.$$

Ist $U_1$ so klein gewählt, dass $\frac{2}{3}\alpha U_1$ klein gegen 1 ist, was meist hinreichend erfüllt sein wird, so kann man setzen $W_2 = W_1\left[1+\frac{2}{3}\alpha(U_2-U_1)\right]$, woraus $U_2-U_1 = \frac{3}{2\alpha}\frac{W_2-W_1}{W_1}$.

Andererseits ist

$8U_1\frac{\lambda}{\varkappa} = V_1^2$; $8U_2\frac{\lambda}{\varkappa} = V_2^2$, also $\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V_2^2-V^2}{8(U_2-U_1)}$, und bei Einsetzung des Wertes für $(U_2-U_1)$ $\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V_2^2-V_1^2}{12}\frac{W_1\alpha}{W_2-W_1}$.

Misst man, wie es wohl am bequemsten ist, $W_1$ und $W_2$ durch Strom- und Spannungsmessung als $W_1 = \frac{V_1}{J_1}$, $W_2 = \frac{V_2}{J_2}$ so wird $\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V_1^2-V_2^2}{V_2J_1-V_1J_2}\frac{V_1J_2}{12}\cdot\alpha$.

Dieses Verfahren wurde an einem auch nach der zuerst angegebenen Schmelzmethode untersuchten Kupferdraht geprüft. Es wurden dabei eine grosse Reihe zusammengehöriger Werte von $J$ und $V$ mit Hilfe Ruhstratscher Strom- und Spannungsmesser in einem weiten Intervall, von 1 bis 11 Ampère, gemessen und diese zu einer Kurve vereinigt. Aus dieser wurde dann entnommen:

$J_1 = 6{,}40$ Ampère, $V_1 = 0{,}0270$ Volt,
$J_2 = 10{,}30$ Ampère, $V_2 = 0{,}0464$ Volt.

Dies gibt, mit $\alpha = 0{,}00040$, $\frac{\lambda}{\varkappa} = 656\cdot10^{-8}$.

Die Schmelzmethode ergab $\frac{\lambda}{\varkappa} = 680\cdot10^{-8}$.

Dieses Verfahren wird besonders bei hohen Temperaturen anwendbar sein und soll hierfür ausgearbeitet werden.

In der Sitzung vom 30. November zeigte Herr F. Richarz in Anknüpfung an seinen Vortrag vom 9. Februar (diese Sitzungsberichte S. 16) eine Aufnahme der nunmehr im Deutschen Museum zu München aufgestellten Versuchsanordnung, die er in Gemeinschaft mit O. Krigar-Menzel zur Bestimmung der Gravitationskonstante und der mittleren Dichtigkeit der Erde benutzt hat. Die im Februar hier gezeigte Aufstellung konnte in der damaligen Form nicht nach München abgesandt werden; denn infolge der bekannten starken Feuchtigkeit des Instituts*) verzog sich die Holzunterlage, auf welcher die Nachbildung des Bleiklotzmittelschnittes befestigt war. Eine nicht zu schwere und vom Einfluss der Feuchtigkeit unabhängige Unterlage wurde in Magnaliumblech (bezogen von der Firma Röder & Co., Hannover) gefunden. Nachdem Herr Institutsmechaniker Paul Görs im September dieses Jahres die ganze Aufstellung im Deutschen Museum montiert hatte, hat er eine Aufnahme mit einem kleinen Amateurapparat gemacht, welche so gut gelungen ist, dass nach ihr die beigegebene Abbildung ausgeführt werden konnte. Neben unserer im Sitzungsbericht vom 9. Februar beschriebenen Anordnung sieht man rechts unten die von Jolly zu seinen Gravitationsversuchen benutzte Bleikugel im Original. Die Apparatur hat vorläufig im Vestibül des provisorischen Gebäudes, Maximilianstrasse 126, Platz gefunden.

*) In den Etat 1911 ist endlich ein Neubau eingestellt worden. (Anmerkung bei der Korrektur.)

In der Sitzung vom 4. August berichtete Herr F. Richarz noch:

**Ueber Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmen $\varkappa = c_p/c_v$ bei reinem Sauerstoff und Vermeidung einer merkwürdigen dabei auftretenden Fehlerquelle.**

Herr E. Rohlf hatte von mir die Aufgabe erhalten, die Werte von $\varkappa$ für Luft und ihre Bestandteile experimentell neu und sicherer als bisher zu bestimmen. Ziel dieser Bestimmungen sollte dann die Prüfung meiner Formel für $\varkappa$ eines Gemisches in seiner Abhängigkeit von den $\varkappa$-Werten der Bestandteile sein. Bei der Bestimmung des Wertes für elektrolytisch hergestellten reinen Sauerstoff fand Herr Rohlf (Marb. Inaug.-Diss. 1909, p. 45) den Wert $\varkappa = 1{,}45$. Dieser Wert war ganz auffallend hoch und stand in Widerspruch mit allen bisherigen Bestimmungen. Indessen war keine Fehlerquelle bekannter Art zu finden, welche diese Abweichung hätte erklären können. Ich kam deswegen auf die Vermutung, dass sie in Zusammenhang stehen könne mit einer Ionisation des Sauerstoffgases. Es wäre denkbar, dass diese ähnlich wirken könnte wie eine Annäherung an das Verhalten einatomiger Gase, für welche $\varkappa$ den Wert 1,67 hat. Herr Rohlf machte seine Versuche so schnell nach der elektrolytischen Herstellung des Sauerstoffgases, als die erforderlichen Manipulationen es erlaubten. Das Gas wurde dabei manchmal durch Phosphorpentoxyd, manchmal durch Chlorcalcium uud Schwefelsäure getrocknet. Hierbei war denkbar, dass eine Ionisation des Sauerstoffgases bei den Versuchen von Herrn Rohlf noch vorhanden war, weil er so frisch elektrolytisch entstandenes Gas benutzte. Dass in solchem Gas Ionisation vorhanden sei, hatten Robert von Helmholtz und ich bereits auf Grund von Dampfstrahlversuchen vermutet. (Wied. Ann. 40, p. 201,1890.) Die Ionisation frisch bereiteten elektrolytischen Gases ist dann später von Townsend mit Sicherheit nachgewiesen worden.

Herr Küster hat dann weiter die Aufklärung dieser Beeinflussung der $\varkappa$-Werte unter Leitung von Prof. F. A. Schulze in die Hand genommen. Diese Versuche werden in der demnächst erscheinenden Dissertation veröffentlicht Zunächst vermied Herr Küster, den Sauerstoff so kurze Zeit wie Herr Rohlf nach der Herstellung zur $\varkappa$-Bestimmung zu benutzen. Indessen ergaben sich auch jetzt noch grosse Werte bei Sauerstoff, bis zu 1,43, wenn die Trocknung mit noch unbenutztem $P_2O_5$ vorgenommen wurde. War das Phosphorpentoxyd schon längere Zeit benutzt oder nahm Herr Küster andere Trockenmittel, so erhielt er Werte für $\varkappa$, die etwa 1,40 betrugen. Die Möglichkeit des Einflusses von Ionisierung war auch hier gegeben. Denn R. Schenck hat nachgewiesen, dass die im käuflichen frischen $P_2O_5$ enthaltenen Beimengungen von $P_4O_6$ ionisierend wirken.

Es lag nahe, nunmehr auch noch andere Ionisatoren zu benutzen. Herr Küster hat dies bereits für Röntgenstrahlen ausgeführt. Das Resultat war ebenfalls eine Erhöhung der $\varkappa$ Werte bis auf den Wert 1,43. Nach Aufhören der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen gingen die Werte wieder auf die normalen zurück. Wenn auch im einzelnen manche Punkte der Aufklärung bedürfen, schien daher doch das Prinzip der Erklärungsmöglichkeit zulässig zu sein. Herr Küpper hat bereits die Fortsetzung dieser Versuche ebenfalls unter Leitung von Herrn F. A. Schulze in diesem Semester begonnen. Es sei bereits an dieser Stelle bemerkt, dass es nicht angängig ist, bloss die durch Ionisation völlig dissocierten Molekeln als diejenigen anzusehen, welche die Erhöhung von $\varkappa$ bewirken. Denn deren Anzahl ist im Verhältnis zur gesamten Molekelzahl zu gering. Vielleicht muss man dann zur Erklärung auch die Mitwirkung derjenigen Molekeln annehmen, welche durch den Einfluss des Ionisators dem Zerfall genähert sind.

**Schottelius, M.,** *Zur Ätiologie einfacher Kehlkopfgeschwüre und deren Verhältnis zur Tuberkulose.* Mit 1 Tafel. —.60

— *Casuistische Mitteilungen aus dem pathologisch-anatomischen Institut zu Marburg.* Mit 1 Tafel 1.20

**Speck, C.,** *Das normale Atmen des Menschen.* 2.—

— *Kritische und experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des veränderten Luftdrucks auf den Atemprozess.* 2 —

— *Untersuchungen über Sauerstoffverbrauch und Kohlensäure-Ausatmung der Menschen.* Mit 2 Tafeln. 2.—

**Wagener, G. R.,** *Die Entwicklung der Muskelfaser.* Mit 3 Taf. 1.60

**Weiss, O.,** *Beitrag zur Kenntnis der Nauheimer Soolsprudel.* Mit 1 Tabelle. —.75

---

**Carius, L.,** *Neue Synthese aromatischer Säuren.* Mit 1 Tafel. —.40

**Fürstenau, E.,** *Neue Methode zur Darstellung und Berechnung der imaginären Wurzeln algebraischer Gleichungen durch Determinanten der Coeffizienten.* —.80

**Hess, E.,** *Über gleicheckige und gleichkantige Polygone.* M. 10 Taf. 5.—

— *Über die zugleich gleicheckigen und gleichflächigen Polyeder.* Mit 2 Tafeln. 4.—

— *Über 4 Archimedeische Polyeder höherer Art.* Mit 2 Tafeln. —.60

**Koch, B.,** *Die Temperaturverhältnisse von Marburg.* Mit 2 Tabellen und 3 lithogr. Tafeln. 1.50

**Linz, A.,** *Klimatische Verhältnisse von Marburg.* Mit 3 Tafeln. 1.50

**Melde, F.,** *Die wolkenlosen Tage.* Mit 4 Tabellen. —.80

— *Experimentaluntersuchungen über Blasenbildung in kreisförmig zylindrischen Röhren.* 1. Teil: Die Libellenblasen. 1. Abschnitt: Luftblasen. Mit 4 Tafeln 2.—

— *Experimentaluntersuchungen über Blasenbildung in kreisförmig zylindrischen Röhren.* 1. Teil. 2. Abschnitt: Quecksilberblasen. 1.—

— *Verzeichnis der wissenschaftlichen Abhandlungen und Schriften* von *Franz Melde,* ord. Prof. der Physik und Astron. an der Universität Marburg. —.20

**Müller, C.,** *Untersuchungen über einseitig frei schwingende Membranen und deren Beziehung zum menschlichen Stimmorgan.* Mit 3 Tafeln. 2.—

**Noack, K.,** *Verzeichnis fluoreszierender Substanzen nach der Farbe des Fluoreszenslichtes geordnet nach Literaturnachweisen.* 2.40

**Stein, J.**, *Die Regenverhältnisse von Marburg.* 2.80

**Take, E.**, *Magnetische und dilatometrische Untersuchung der Umwandlungen Heusler'scher ferromagnetisierbarer Manganbronzen.* 4.—

*Über die ferromagnetischen Eigenschaften von Legierungen unmagnetischer Metalle.* Von **Fr. Heusler** — u. Mitw. von **F. Richarz, W. Starck** und **E. Haupt.** 2.20

---

**Claus, C.**, *Beiträge zur Kenntnis der Ostracoden.* 1. Entwicklungsgeschichte von Cypris. Mit 2 Tafeln. —.80

— *Beobachtungen über Lernaeocera, Peniculus und Lernaea.* Mit 4 Tafeln. 2.—

— *Beobachtungen über die Organisation und Fortpflanzung von Leptodera Appendiculata.* Mit 3 Tafeln. 1.60

— *Die Copepoden-Fauna von Nizza.* Mit 5 Tafeln. 3.—

— *Die Cypris-ähnliche Larve (Puppe) der Cirripedien und ihre Verwandlung in das festsitzende Tier.* Mit 2 Tafeln. 1.20

**Kayser, E.**, *Die Fauna des Dalmanitensandsteins von Kleinlinden bei Giessen.* Mit 5 Lichtdruck-Tafeln. 2.—

**Koenen, A. von**, *Das Miocaen Nord-Deutschlands und seine Mollusken-Fauna.* Mit 3 Tafeln. 4.—

**Lotz, H.**, *Die Fauna des Massenkalks der Lindener Mark bei Giessen.* Mit 4 Lichtdrucktafeln. 3.—

**Wigand, A.**, *Flora von Hessen und Nassau.* II. Teil. Fundorts-Verzeichnis der in Hessen und Nassau beobachteten Samenpflanzen und Pteridophyten. Herausgeg. von *Fr. Meigen.* Mit einer Karte von Hessen-Nassau. 7.—

— *Der botanische Garten zu Marburg.* Mit 1 Plan. 1.—

**Wigand, J. W. A.**, *Über Darwin's Hypothese Pangenesis.* —.40

---

Ferner erschien in unserem Verlag:

**Claus-Grobben**, *Lehrbuch der Zoologie.* 8. Aufl. 18.—
geb. 20.—

---

# Sitzungsberichte

der

# Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

**Marburg**

BUREAU OF
AMERICAN ETHNOLOGY.
JUL 1 1912
LIBRARY

---

**Jahrgang 1911**

---

Marburg
Kommissionsverlag der N. G. Elwert'schen Verlagsbuchhandlung
1912.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

---

**Jahrgang 1911**

---

Marburg
Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch
1912.

# Inhalts-Angabe.


Seite

Herr *K. Andrée:* Über die geologische Bedeutung des Drucks wachsender Kristalle und die Frage nach dessen physikalischer Erklärung . . . . . 1

Herr *F. A. Schulze:* Uber das Verhalten einiger Reihen von Edelmetall-Legierungen zum Gesetz von Wiedemann u. Franz . . 10

Herr *A. Wegener*: Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten . . . . . 13

Herr *C. Tönniges*: Die Trichocysten von Frontonia leucas und ihr chromidialer Ursprung . . . . . 37

Herr *W. Harms*: Über den Einfluß des kastrierten auf den normalen Komponenten bei Parabiose von Rana . . . . . 51

Herr *W. Harms:* Bemerkungen zu einer Demonstration von Ovarialtransplantation auf fremde Species bei Lumbriciden und Tritonen . . . . . .

Herr *Römer:* Uber den Erreger der Meerschweinchenlähme . . 61

Herr *Berlin:* Über zwei neue Apparate für den Laboratoriumsgebrauch . . . . . 73

Herr *W. Bieber*: Weitere Untersuchungen über die Kondensation des Wasserdampfes. Wirkung des Sonnenlichtes auf die Atmosphäre. Die blaue Farbe des Himmels im ursächlichen Zusammenhang mit dieser Wirkung . . . . . 78

Herr *Rubbel:* Über Perlen und Perlenbildung in Süßwassermuscheln 87

Herr *Gürber:* Warum gerinnt gekochte Milch nicht durch Lab . 87

Herr *Gürber*: Vacuolenbildung in roten Blutkörpern durch Extrakte aus Blutkörpern oder aus andern Zellen . . . . . 87

Herr *Gürber*: Endocelluläre Hämoglobinkristallisation . . . . 87

Herr *Krümmel*: Die Ergebnisse der internationalen Meeresforschung 87

Aufgelegte Schriften, Seite 35, 36, 72, 88.

# Verzeichnis der Mitglieder*)

(am Schluß des Jahres 1911).

## Ehrenmitglieder.

*Retzius, Gustav*, Prof. emerit. der Anatomie, Stockholm . 18. 1. 99.
*Marchand, Felix*, Dr. med., o. Prof. d. path. Anat., Geh. Med.-Rat, Leipzig . . . . . 9. 1. 01.
*Hittorf, Wilhelm*, Dr. phil., o. Prof. d. Physik, Geh. Reg.-Rat, Münster . . . . . 19. 11. 01.
*Graf Zeppelin*, Dr. ing., Exzellenz, Friedrichshafen . . . 5. 8. 08.
*Mannkopff, Emil*, Dr. med., o. Prof. d. inn. Med., Geh. Med.-Rat 12. 7. 11.

## Einheimische Mitglieder.

### A. Ordentliche.

*Ahlfeld, Friedrich*, Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie, Geh. Med.-Rat . . . . . 11. 7. 83.
*Bach, Ludwig*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie . . 28. 11. 00.
*Bauer, Max*, Dr. phil., o. Prof. d. Mineralogie, Geh. Reg.-Rat 11. 3. 85.
*v. Behring, Emil*, Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Wirkl. Geh. Rat . . . . . 15. 5. 95.
*Bonhoff, Heinrich*, Dr. med., o. Prof. der Hygiene . . . 9. 3. 04.
(8. 11. 99)
*Diels, Ludwig*, Dr. phil., a. o. Prof. der Botanik . . . . 28. 6. 11.
(28. 7. 09)
*Disse, Joseph*, Dr. med., o. Honorar-Professor d. Anatomie und I. Prosektor . . . . . 13. 11. 95.
*Feussner, Wilhelm*, Dr. phil., a. o. Prof. der Physik . . . 14. 7. 81.
(10. 6. 69)
*Gasser, Emil*, Dr. med., o. Prof. d. Anatomie, Geh. Med.-Rat 27. 1. 88.
(16. 7. 74)

*) Die Daten bedeuten den Tag der Ernennung, die in Parenthese gesetzten Daten den Tag der Ernennung zum außerordentlichen Mitglied.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Gürber, August,* Dr. med. et phil., o. Prof. d. Pharmakologie | 28. | 6. | 11. |
| | (9. | 12. | 08) |
| *Hensel, Kurt,* Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . . | 10. | 12. | 02. |
| *Kayser, Emanuel,* Dr. phil., o. Prof. d. Geologie, Geh. Reg.-Rat | 13. | 1. | 86. |
| *Korschelt, Eugen,* Dr. phil., o. Prof. der Zoologie . . . | 26. | 7. | 93. |
| *Krümmel, Otto,* Dr. phil., o. Prof. der Geographie, Geh. Reg.-Rat . . . . . | 10. | 5. | 11. |
| *Kutscher, Friedrich,* Dr. med., a. o. Prof. der Physiologie | 12. | 2. | 08. |
| | (16. | 2. | 98) |
| *Matthes, Max,* Dr. med., o. Prof. der inneren Medizin . . | 28. | 6. | 11. |
| *Meyer, Arthur,* Dr. phil., o. Prof. der Botanik . . . . . | 4. | 11. | 91. |
| *Neumann, Ernst,* Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . | 8. | 5. | 07. |
| | (13. | 12. | 05) |
| *Ostmann, Paul,* Dr. med., Prof. der Otologie . . . . . | 13. | 11. | 95. |
| *Rathke, Bernhard,* Dr. phil., o. Hon.-Prof. der Chemie . . | 14. | 3. | 84. |
| *Richarz, Franz,* Dr. phil., o. Prof. der Physik . . . . . | 15. | 5. | 01. |
| *Römer, Paul,* Dr. med., a. o. Prof. der Hygiene . . . . | 28. | 6. | 11. |
| | (9. | 2. | 04) |
| *Schenck, Friedrich,* Dr. med., o. Prof. d. Physiologie . . | 15. | 5. | 01. |
| *Schmidt, Ernst,* Dr. phil., o. Prof. der pharm. Chem., Geh. Reg.-Rat . . . . . | 11. | 3. | 85. |
| *Schmidt, Martin,* Dr. med., o. Prof. der path. Anatomie . | 28. | 6. | 11. |
| *Schulze, Franz Arthur,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doz. d. Physik | 5. | 8. | 08. |
| | (31. | 7. | 01) |
| *Tuczek, Franz,* Dr. med., o. Prof. d. Psychiatrie, Geh. Med.-Rat | 15. | 5. | 95. |
| | (14. | 3. | 90) |
| *Zincke, Theodor,* Dr. phil., o. Prof. d. Chemie, Geh. Reg.-Rat | 13. | 1. | 76. |
| *Zangemeister, Wilhelm,* Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie | 28. | 6. | 11. |

## B. Ausserordentliche.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Andrée, Karl,* Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . | 4. | 2. | 11. |
| *Berlin, Ernst,* Dr. phil., Assistent am physiol. Institut . . | 28. | 6. | 11. |
| *Bruns, Oskar,* Dr. med., Priv.-Doz., Oberarzt d. med. Klinik | 28. | 6. | 11. |
| *v. Dalwigk, Friedrich,* Dr. phil., Prof., Priv.-Dozent der Mathematik . . . . . | 9. | 5. | 00. |
| *v. Drach, Alhard,* Dr. phil., a. o. Prof. der Mathematik . | 11. | 7. | 66. |
| *Fischer, Guido,* Dr. med., Prof., Direktor d. Zahnklinik . . | 28. | 6. | 11. |
| *Flade, Friedrich,* Dr. phil., Priv.-Doz. für Chemie . . . | 4. | 8. | 10. |
| *Fries, Carl,* Dr. phil., Abteilungsvorsteher am chem. Institut | 9. | 3. | 04. |
| *Grüter, Wilhelm,* Dr. med., Priv.-Dozent, Assistent an der Augenklinik . . . . . | 28. | 6. | 11. |

*Harms, Wilhelm*, Dr. phil., Priv.-Dozent für Zoologie . . 7. 6. 10.
*Hellinger, Ernst*, Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . , 12. 1. 10.
*Herrmann, F.*, Dr. phil., Assistent am geol. Institut . . . 1. 3. 11.
*Heyde*, Dr. med., Priv.-Doz., Assistent a. d. chirurg. Klinik 7. 6. 10.
*Hildebrand, Heinrich*, a. o. Professor der gerichtl. Medizin 14. 12. 04.
*Jahrmärker, Max*, Dr. med., Prof., Priv.-Dozent, Oberarzt der psychiatr. Klinik . . . . . 9. 2. 04.
*Kaufmann*, Hauptmann . . . . . 13. 12. 11.
*Keller, Oskar*, Dr. phil., Prof., Abteilungsvorsteher am pharm. Institut . . . . . 28. 6. 11.
*Krauss, Wilhelm*, Dr. med., Prof., Priv.-Doz. d. Augenheilkunde 10. 7. 07.
*Lohmann, Alfred*, Dr. med., Prof., Priv.-Doz. d. Physiologie 8. 2. 05.
*Müller, Eduard*, Dr. med., a. o. Prof., Direktor der med. Poliklinik . . . . . 9. 2. 10.
*Reissert, Arnold*, Dr. phil., Prof., Priv.-Doz. der Chemie . 11. 2. 03.
*Rieländer, August*, Dr. med., Prof., Privat-Dozent der Gynäkologie . . . . . 13. 6. 06.
*Rühl, Alfred*, Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . 28. 7. 09.
*Schenck, Martin*, Dr. med. et phil., Assistent a. pharm. Inst. 28. 6. 11.
*Schwantke, Arthur*, Dr. phil., Priv.-Dozent, Assistent am mineral. Institut . . . . . 21. 6. 99.
*Siebert, Carl*, Dr. phil., Chemiker . . . . . 14. 5. 02.
*Stuchtey, Karl*, Dr. phil., Assistent am physik. Institut . . 9. 12. 08.
*Take, Emil*, Dr. phil., Assistent am physik. Institut . . . 9. 12. 08.
*Thiel, Alfred*, Dr. phil., a. o. Prof. der physik. Chemie . . 10. 5. 11.
*Tönniges, Carl*, Dr. phil., Prof., Assistent am zoolog. Institut 16. 2. 98.
*Veit, Otto*, Dr. med., Priv.-Doz., II. Prosektor . . . . . 28. 7. 09.
*Wegener, Alfred*, Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . 28. 7. 09.

## Auswärtige Mitglieder.*)

*Ach, Narciss*, Dr. med. et phil., Professor der Philosophie, Königsberg . . . . . (8. 2. 05)
*Ackermann, Dankwart*, Dr. med., Privat-Dozent der Physiologie, Würzburg . . . . . (5. 8. 08)
*Aschoff, Ludwig*, o. Prof. der patholog. Anatomie, Freiburg i. Br. . . . . 17. 6. 03.
*Axenfeld, Theodor*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalm., Freiburg i. Br. . . . . (15. 1. 96)

*) Die mit einem * bezeichneten sind korrespondierende, die sämtlichen übrigen ehemalige einheimische Mitglieder.

*Barth, Adolf*, Dr. med., o. Prof. der Otologie, Leipzig . . 4. 11. 91.
*Barth, Arthur*, Dr. med., Prof., Oberarzt, Danzig . . . . (13. 11. 95)
*Böhm, Rud.*, Dr. med., o. Prof. d. Pharm., Geh. Med.-Rat, Leipzig 20. 5. 81.
*Borrmann, Robert*, Dr. med., Prof., Priv.-Dozent der path. Anatomie, Göttingen . . . . . (14. 5. 02)
*Brauer, August*, Dr. phil., Professor, Direktor des naturhistorischen Museums, Berlin . . . . . 17. 5. 99.
(17. 6. 96)
*Brauer, Ludolf*, Dr. med., o. Prof., Direktor d. med. Klinik in Hamburg-Eppendorf . . . . . (14. 12. 04)
*Braun, Ferdinand*, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Straßburg (8. 2. 78)
*Brauns, Reinhard*, Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Bonn (27. 1. 88)
*Buchholz, Adolf*, Dr. med., Prof., Oberarzt, Hamburg . . 8. 12. 97.
*Busz, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Münster . (19. 6. 95)
*Dietrich, Theodor*, Dr. phil., Prof., Geh. Reg.-Rat, Hannover (15. 1. 96)
*Drevermann, Fritz*, Dr. phil., Priv.-Dozent, Frankfurt . . (11. 2. 03)
*Enderlen, Eugen*, Dr. med., Prof. der Chirurgie, Würzburg 12. 2. 97.
*Falk, Ferdinand August*, Dr. med., a. o. Prof. d. Pharm., Kiel 28. 4. 75.
*Fraenkel, Carl*, Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Halle . . 4. 11. 91.
*Friedrich, Paul*, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Reg.-Rat, Königsberg . . . . . 12. 2. 08.
*Fuëter, Rudolf*, o. Prof. der Mathematik, Basel . . . . (3. 5. 07)
*Gadamer, Johannes*, Dr. phil., o. Prof. der pharmazeut. Chemie, Breslau . . . . . (9. 3. 98)
*Goebel, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Botanik, München . . 27. 1. 88.
*Haselhoff, Emil*, Dr. phil., Prof., Direktor der landw. Versuchsstation, Cassel . . . . . (11. 2. 03)
*Häcker, Rudolf*, Dr. med., Prof., Oberarzt d. chirurg. Klinik, Königsberg . . . . . (7. 6. 10)
*Heffter, Arthur*, Dr. phil. et med., o. Prof. der Pharmakologie, Berlin . . . . . 14. 11. 06.
*Heine, Leopold*, o. Prof. der Ophthalmologie, Kiel . . . . (18. 1. 99)
*Hermann, Theodor*, Dr. phil., Hanau . . . . . (2. 7. 68)
*Hess, Carl*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmol., Würzburg 11. 11. 96.
*Hess, Otto*, Dr. med., Prof., Oberarzt, Posen . . . . . (25. 6. 02)
**Heusler, Fritz*, Dr. phil., Dillenburg . . . . . 8. 2. 05.
*Jung, Heinrich*, Dr. phil., Privat-Dozent der Mathematik, Oberlehrer, Hamburg . . . . . 13. 12. 05.
*v. Koenen, Adolf*, Dr. phil., o. Professor der Geologie, Geh. Berg-Rat, Göttingen . . . . . 28. 4. 75.
*Kossel, Albrecht*, Dr. med., o. Prof. der Physiol., Heidelberg 15. 5. 95.
*Krehl, Ludolf*, Dr. med., o. Prof. d. inn. Medizin, Heidelberg 8. 11. 99.

*Küster, Fr. Wilh.*, Dr. phil., o. Prof., Gutsbes., Müncheberg bei Berlin . . . . . (26. 7. 93)
*Küster, Ernst*, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Reg.-Rat, Berlin . . . . . 4. 11. 91.
*Küttner, Hermann*, Dr. med., o. Prof. der Chirnrg., Breslen 2. 8. 05.
*Loewi, Otto*, Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Graz . (15. 5. 01)
*Lotz, Heinrich*, Dr. phil., Geologe, Berlin . . . . . (13. 12. 99)
*Meisenheimer, Johannes*, Dr. phil., a. o. Prof. d. Zoologie, Jena 5. 8. 08. (16. 9. 98)
*Meyer, Hans*, Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Wien 11. 3. 85.
*Müller, Friedrich*, Dr. med., o. Prof. der inn. Med., München 26. 4. 98.
*Neide, Ernst*, Dr. phil., Allstedt, Großherzogtum Sachsen (13. 1. 04)
*Noll, Alfred*, Dr. med., a. o. Prof., Jena . . . . . (16. 2. 95)
*Oestreich, Carl*, Dr. phil., o. Prof. der Geographie, Utrecht (9. 3. 04)
*Opitz, Erich*, Dr. med., Prof., Direkt. d. Frauenkl., Düsseldorf (13. 1. 04)
*Pfannkuch, Wilhelm*, Dr. med., prakt. Arzt, Cassel . . . (17. 1. 72)
*Pfeffer, Wilh.*, Dr. phil., o. Prof. d. Botanik, Geh. Hofrat, Leipzig (27. 4. 71)
*Plate, Ludwig*, Dr. phil., o. Prof. der Zoologie, Jena . . (27. 1. 88)
*Plenge, Enriquez*, Dr. med., Heidelberg . . . . . (7. 3. 99)
*Ransom, Frederick*, Dr. med., Cambridge . . . . . (7. 3. 99)
**Rehn, Joh. Heinrich*, Dr. med., San.-Rat, Frankfurt a. M. 26. 11. 80.
*Rein, Johannes*, Dr. phil., o. Prof. d. Geogr., Geh. Reg.-Rat, Bonn 1. 12. 76.
*Ribbert, Hugo*, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie, Bonn 20. 6. 00.
*Romberg, Ernst*, Dr. med., o. Prof. der klin. Medizin, Tübingen 20. 5. 00.
*Rost, Eugen*, Dr. med., Regierungsrat, Berlin . . . . . (16. 2. 98)
*Rubner, Max*, Dr. med., o. Prof. d. Physiol., Geh. Med.-Rat, Berlin 13. 1. 86.
*Rumpf, Theodor*, Dr. med., Professor, Bonn . . . . . 14. 3. 90.
*Rupp, Erwin*, Dr. phil., a. o. Prof. für Pharmazie, Königsberg (14. 12. 04)
*Ruppel, Wilhelm*, Dr. phil., Professor, Höchst . . . . . (18. 7. 00)
*Sauerbruch, Ferd.*, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Zürich 7. 6. 10.
*Schaum, Carl*, Dr. phil., a. o. Prof. d. physik. Chemie, Leipzig 13. 12. 05.
*Schenck, Rudolf*, Dr. phil., o. Prof. d. physik. Chemie, Breslau (11. 8. 97)
*Schmidt-Rimpler, Hermann*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Halle . . . . . 15. 11. 71.
*Schöne, Georg*, Dr. med., Priv.-Doz. f. Chirurgie, Greifswald (7. 6. 10)
*Schottelius, Max*, Dr. med., o. Prof. d. Hyg., Hofrat, Freiburg i. B. (11. 7. 79)
*Schottky, Friedrich*, Dr. phil., o. Prof. der Mathem., Berlin 15. 5. 95.
*Schridde, Hermann*, Dr. med., Prof.. Privat-Dozent der pathol. Anatomie, Freiburg i. Br. . . . . (13. 12. 05)
*Schwenkenbecher, Alfred*, Dr. med., Prof., Direktor der med. Klinik, Frankfurt a. M. . . . . (13. 5. 08)
*Seddig, Max*, Dr. phil., Frankfurt . . . . . (17. 6. 03)

*Seemann, John*, Dr. med., Prof., Priv.-Dozent der Physiologie, München . . . . . (5. 6. 02)
*Siemens, Friedrich*, Dr. med., Geh. Med.-Rat, Direktor der Landes-Irrenanstalt Lauenburg i. P. . . . . (19. 12. 79)
**Speck, Carl*, Dr. med., San.-Rat, Kreis-Physik., Dillenburg 5. 4. 71.
*Stoeckel, Walter*, Dr. med., o. Prof., Direktor der gynäkol. Klinik, Kiel . . . . . 5. 8. 08.
*Strahl, Hans*, Dr. med., o. Prof. der Anatomie, Gießen . . 27. 1. 88.
(14. 12. 80)
*Straub, Walther*, Dr. med., o. Prof. der Pharmakol., Freiburg (13. 12. 05)
*Study, Eduard*, Dr. phil., o. Prof. der Mathematik, Bonn . (14. 3. 90)
*Thumb, Albert*, o. Prof. der indog. Sprachen, Straßburg (14. 2. 06)
*Uthoff, Wilhelm*, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Breslau . . . . . 4. 12. 91.
*Weber, Heinrich*, Dr. phil., o. Prof. d. Mathematik, Straßburg 11. 3. 85.
*Wendel, Walther*, Dr. med., Prof., Direktor des städtischen Krankenhauses, Magdeburg-Sudenburg . . . . . (12. 2. 02)
*Wernicke, Erich*, Dr. med., Prof., Direktor des hygien. Instituts in Posen . . . . . 16. 2. 98.
(10. 2. 97)

## Der Vorstand.

*E. Korschelt*, Vorsitzender. *Fr. Kutscher*, ständiger Schriftführer.

### Engerer Ausschuss.

*F. Richarz*, stellvertr. Vorsitzender. *E. Neumann, F. Schenk.*

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 1 Mai 1911


In der Sitzung vom 10. Mai 1911 sprach Herr K. Andrée:

### Ueber die geologische Bedeutung des Drucks wachsender Kristalle und die Frage nach dessen physikalischer Erklärung.

Gelegentlich der Diskussion gewisser Umwandlungen der Sedimente[1]) hatte ich auch die Bedeutung der „Kristallisationskraft“ für die Ausgestaltung derselben zu Gesteinen betont. Seitdem sind zwei Arbeiten erschienen, welche diese Kraft von allgemeineren Gesichtspunkten aus ins Auge fassen. Franz Ed. Suess[2]) hat in einer Arbeit über „Die Bildung der Karlsbader Sprudelschale unter Wachstumsdruck der Aragonitkristalle“ eine grosse Zahl von Angaben älterer Forscher über den „Wachstumsdruck der Kristalle“ zusammengestellt, was wegen der grossen Zerstreuung der Literatur recht wertvoll ist. Später ist, und zwar unabhängig von dieser Arbeit, durch W. Bornhardt

1) Vergl. dazu K. Andrée. Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehungen zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie. Geologische Rundschau, II., Leipzig 1911.

2) Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, II., 1909 p. 392 bis 444, Taf. X bis XV.

derselbe Gegenstand behandelt worden, besonders mit Rücksicht auf die Wirkung, welche der Druck wachsender Kristalle nach Annahme vieler Forscher auf die Weite von Gangspalten ausübt.[1]) Es kann nicht meine Absicht sein, an dieser Stelle die Angaben dieser beiden Autoren zu wiederholen.[2]) Ich möchte vielmehr hier nur über ein Beispiel des Wirkens der fraglichen Kraft berichten, das ich gelegentlich einer Exkursion des vorjährigen internationalen Geologenkongresses im schwedischen Oberkambrium zu beobachten Gelegenheit hatte. Am Westfusse des allen Geologen bekannten Tafelberges Kinnekulle in Westergötland, dessen Geologie Holm und Munthe[3]) geschrieben haben, werden in langgestreckten Brüchen die stark bituminösen Alaunschiefer des Oberkambrium ausgebeutet, um als Brennmaterial für die zwischengelagerten Stinkkalkbänke zu dienen. Dieses geschieht in sehr primitiver Weise, indem innerhalb im Viereck aus losen Platten aufgeschichteter Mauern abwechselnde Lagen von Alaunschiefer und Stinkkalk über einer dünnen Lage Brennholz aufgehäuft werden, dieses angezündet wird und das Ganze längere Zeit sich selber überlassen bleibt. In diesen Alaunschiefern liegen ausser den erwähnten Stinkkalkbänken noch linsenförmige Lagen und grosse Konkretionen von grobspätigem, dunkelgefärbtem Anthrakonit oder bituminösem Kalkspat. Die Stinkkalklager

---

1) W. Bornhardt. Ueber die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung. I. Archiv für Lagerstättenforschung, Heft 2, Berlin 1910, p. 213 bis 228, 411 bis 412: Wirkung der „Kristallisationskraft".

2) Referierend habe ich über die gesamte, mir über diese Frage zur Kenntnis gekommene Literatur in der „Geologischen Rundschau", Leipzig 1911, berichtet.

3) G. Holm und H. Munthe. Kinnekulle, dess Geologi och den Tesniska Användningen af dess Bergarter. Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C. Nr. 172. Stockholm 1901, wo p. 18 bis 22 der Stinkkalk nebst Anthrakonit und ihr Verband mit den Alaunschiefern geschildert wird.

enthalten auf ihrer Oberfläche oft zu Tausenden die Reste von Agnostiden, Oleniden u. s. w., im Innern ist vielfach nichts davon zu sehen. Die grobkristallinen Anthrakonitlagen zeigen auch an der Begrenzung gegen die Schiefer niemals eine Spur von Fossilien. Sie sind eben nachträglich durch Konzentration eines gleichzeitig mit den Schiefern abgelagerten Kalk- (und Bitumen-) Gehaltes entstanden, und zwar machen manche Stücke den Eindruck, als ob nur gewisse, vielleicht bestimmt orientierte Kalkspatindividuen der feinkristallinen Stinkkalkbänke die Ansatzpunkte für die Kristallisation der Individuen des grobkristallinen Anthrakonits gebildet hätten. Ganz ähnlich nun, wie Daly[1]) Emporwölbungen oberdevonischer Schiefer in Ontario durch radialstrahlige Konkretionen bituminösen Kalkspates beobachtet hat, ist auch am Kinnekulle eine Emporwölbung der Alaunschiefer festzustellen, so zwar, dass die Schieferschichten, die sich den grossen Konkretionen völlig anschmiegen, eine sehr unruhige, stark buckelige Oberfläche bilden. Diese Oberfläche allein zeigt schon die Nachträglichkeit des ganzen Vorganges an. Denn die Alaunschiefer sind nach allem, was wir über die Ablagerung feiner Sedimente wissen, sicher annähernd horizontal sedimentiert worden. Auch die grosse Zahl von Rutschflächen, welche, mit kohligem Belag versehen, die Schiefer durchziehen, könnte man auf den Druck der wachsenden Anthrakonitmassen zurückführen, um so mehr, als der Kinnekulle ja ein Teil des seit vorpaläozoischer Zeit kaum von starken Störungen betroffenen Baltisch-Russischen Schildes ist.

Schon bei der diagenetischen Umkristallisierung, welche von dem feinen, bituminösen Ursprungssediment zur Ausbildung des feinkristallinen Stinkkalkes führte, scheint die Kristallisationskraft derart gewirkt zu haben, dass sie die einzelnen Individuen des Kalkspats von dem verunreinigenden

1) The Journal of Geology, VIII, 1900, p. 135 bis 150.

Bitumen ziemlich frei hielt, das nunmehr an den Grenzen der allotriomorphen Körner zusammengedrängt wurde. So erhält das mikroskopische Bild ein netzförmiges Aussehen, besonders schön bei einem Paradoxides-Stinkkalk des Mittelkambrium aus Råbäcks-Kalkbruch.

Diese Erscheinung der reinigenden Wirkung von Umkristallisierungen, die schon lange in der Technik angewendet wird, ist bereits von verschiedenen Beobachtern auch an natürlichen Vorkommnissen festgestellt worden. A. von Inostranzeff berichtete 1872 dasselbe von einem schwarzen, abfärbenden Dolomit, wahrscheinlich karbonischen Alters, aus dem Gouvernement Olonez[1]), H. Loretz 1879 von Zechsteindolomiten[2]). Sodann hat J. Beckenkamp 1907 gelegentlich seiner Veröffentlichung über die Zellenkalke[3]) des mittleren Muschelkalkes die Ansicht geäussert, dass beim Umkristallisieren dichter Calcitmasse in grobkristallinischen Calcit ein Zurückschieben der eisenhaltigen und kohligen Verunreinigungen und Anhäufung derselben am Rande stattgefunden habe. Selbst bei Umkristallisierungen infolge von Druck ist ähnliches beobachtet worden. Arnold Heim hat 1905 in dem grossen „Säntis-Werk“[4]) beschrieben, wie Kreidekalke unter lokalen Bedingungen starken Druckes zu marmorartigen Gesteinen umkristallisierten, wobei eine „Entmischung“ eintrat derart, dass die im Ursprungsgestein gleichmässig verteilte tonige Substanz und das Bitumen zu sogenannten „Entmischungshäuten“ ausgeschieden wurden. Auch hierin darf man wohl die mechanische Wirkung des Drucks der wachsenden Calcitkristalle sehen.

---

1) Jahrb. K. K. geol. Reichsanst., Bd. XXII, 1872, p. 48, Taf. III, Fig. 10.

2) Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 31, 1879, p. 757.

3) Sitzungsber. Phys.-Mediz. Ges. zu Würzburg 1907, p. 27.

4) Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N. F., XVI. (46.) Lief., Bern 1905, p. 504.

Ist man demnach in der Lage, eine recht beträchtliche Zahl von geologisch nicht unwichtigen Erscheinungen auf den Druck wachsender Kristalle zurückzuführen, so liegt doch anderseits die physikalische Deutung des Vorganges an sich noch vollkommen im Argen. Zwar glauben Becker und Day[1]), die einzigen Forscher, welche bisher über das qualitative Experimentalstudium der Kristallisationskraft hinausgegangen sind, nachgewiesen zu haben, welch' grosse mechanische Kraft dieselbe repräsentiert, und dass wachsende Kristalle einen Druck von derselben Grössenordnung ausüben müssen, wie der Widerstand gegen Zertrümmerung. Indes haften diesem Ergebnis, wie die Autoren selbst berichten, doch noch manche Unsicherheiten an, und das Zustandekommen der Kraft bleibt rätselhaft wie zuvor. Zwei Anschauungen sind neuerdings darüber geäussert worden, die ich besprechen möchte. Daly[2]) hat angenommen, dass der kohlensaure Kalk eine Volumenzunahme zeige, wenn er aus Lösung in feste Form überginge. Das ist eine meines Wissens vollkommen unbewiesene Behauptung. Zugleich scheint mir das aber, selbst wenn diese Behauptung das richtige träfe, garnicht von Bedeutung für unsere Frage zu sein. Denn es handelt sich hier doch gar nicht um solch' minimale Volumänderungen, wie sie beim Uebergang aus dem einen in einen anderen Aggregatzustand auftreten können, sondern darum, weshalb ein Kristall, der unter den Bedingungen stetig sich erneuernder Stoffzufuhr steht, erheblich zu wachsen befähigt ist unter Ueberwindung nicht unbeträchtlicher mechanischer Hindernisse. Die Volumenänderung bei Aenderung des Aggregatzustandes ist eine Erscheinung, die unter den Gesetzen steht, welche chemisch-physikalische Gleichgewichte beherrschen; bei einem Stoffe, welcher unter Volumenzunahme fest wird, muss der Uebergang in den festen Aggregatzustand

1) Proc. of the Washington Academy of Sciences, VII, 1905, p. 283 bis 288.

2) a. a. O., p. 147

durch Anwendung von Druck verzögert werden, und umgekehrt wird der mit Volumenabnahme verbundene Uebergang eines Stoffes in den festen Zustand durch Drucksteigerung, welche in unserem Falle durch das der Kristallisation widerstrebende Medium ausgeübt wird, beschleunigt werden.

Man kann dieses auch folgendermassen ausdrücken:

| | | |
|---|---|---|
| Beim Uebergang einer flüssigen in die feste Phase wird ohne Temperaturänderung ermöglicht | Fall 1: Volumzunahme durch Abnahme des Aussendruckes, bez. Fehlen äusseren mechanischen Widerstandes. | Fall 2: Volumabnahme durch Zunahme des Aussendruckes, bez. Vorhandensein äuss. mechanischen Widerstandes. |

In folgerichtiger Durchdenkung des Gedankenganges, den auch W. Bornhardt wiedergibt, hätte Daly sehen müssen, dass die supponierte Volumzunahme des in den festen Zustand übergehenden kohlensauren Kalkes garnicht von Belang sein kann, da ja der tatsächlich vorhandene und vom wachsenden Kristall zu überwindende Gegendruck das Gleichgewicht in entgegengesetzter Weise verschieben und eine Wiederauflösung herbeiführen müsste, wenn keine Temperaturänderung eintritt. Der Unterschied der beiden hier möglichen Fälle muss also vollkommen ohne Bedeutung für die Entstehung des Wachstumsdruckes sein. In beiden Fällen ist Wachstumsdruck denkbar, und auf diesen können daher die für chemisch-physikalische Gleichgewichte geltenden Gesetze nicht von Einfluss sein. Die „Kristallisationskraft“ — der ich in der Weise, wie sie die älteren Autoren sich vorstellten, nämlich als Bestreben zu fortschreitender Kristallisation, entgegen Dalys Anschauung, das Wort reden möchte — muss sich aus dem ureigensten Wesen der Kristalle heraus erklären lassen. So hat denn

auch O. Lehmann[1]) noch 1904 mit Rücksicht auf die Ausübung des Wachstumsdruckes durch Eis darauf hingewiesen, dass die bekannte Volumausdehnung des gefrierenden Wassers zur Erklärung nicht herangezogen werden könne, wenn es sich z. B. um ein Heben von Erdschollen durch darunter gebildete Eiskristalle um mehr als ein Meter Höhe handele, und dass die Wirkung sich in gleicher Weise bei Kristallbildungen zeige, die nicht mit einer Zunahme, sondern mit einer Abnahme des Volumens verbunden sind.[2]) Lehmann selbst stellte sich vor, dass bei Auskristallisieren aus wässeriger Lösung sich durch Adsorption zwischen dem wachsenden Kristall und seiner Unterlage eine kapillare Zwischenschicht der betr. Lösung halten müsse, aus welcher heraus die fortschreitende Kristallisation stattfinde, und welche sich ständig ergänzen müsse. Ich kann nicht behaupten, dass die Sachlage durch diese Annahme klarer wird, denn, wenn dem so wäre, so hätte die kristallisierende Substanz nicht nur die Hebung des schon vorhandenen Kristalls zu bewirken, sondern auch den Innendruck der Kapillarschicht zu überwinden; und in unserem Fall 1 müsste dieser durch die Adsorptionskraft ausgeübte Druck geradezu die Entstehung der festen Phase mindestens verzögern. Es kommt hinzu, dass die Zuhilfenahme der Kapillarität oder Adsorption unmöglich erscheint dort, wo wir, wie bei manchen Umkristallisationen von Gesteinen (‚Umkristallisationen, die dem bekannten „Umstehen“ von Metalllegierungen analog sind,) die für diese Lehmann'schen Vorstellungen nötigen Lösungen kaum zur Verfügung haben.

Wenn es nach alledem die Aufgabe der Geologie ist, durch sorgfältige Vergleiche und Beobachtungen festzustellen, welche Rolle die Kristallisationskraft in der Erdgeschichte

1) Flüssige Kristalle, sowie Plastizität von Kristallen im allgemeinen, molekulare Umlagerungen und Aggregatzustandsänderungen. Leipzig, W. Engelmann, 1904, p. 137.

2) Vgl. auch O. Lehmann. Molekularphysik, Bd. I, Leipzig 1888, p. 348.

spielt,[1]) so sollte anderseits die Physik daran gehen, für die so wichtige und nicht wegzuleugnende Erscheinung eine plausible Deutung zu suchen. Erst dann wird es sich auch für den Geologen ermöglichen, die Grenzen innezuhalten, innerhalb derer er die Kristallisationskraft zur Erklärung heranzuziehen berechtigt ist.

Dessenungeachtet lässt sich doch schon heute sagen, dass ein Autor der jüngsten Zeit in allzu phantastischer Weise den Druck kristallisierender Substanzen für seine Ideen verwertet hat. R. Lachmann[2]) ist der Ansicht, den Bau der norddeutschen Salzlager besser als auf dem bisherigen tektonischen Wege durch „autoplastische Deformationen" erklären zu können, die er einmal als diagenetische Umkristallisierungen, zum anderen als epigenetische, metasomatische Umwandlungen bezeichnet. Was die letzteren anbetrifft, so glaubt der Autor das Riecke'sche Prinzip auf die Salzlagerstätten anwenden zu können, nach welchem durch Lösungsumlagerung die Salze aus dem Gebiete grösseren Druckes in der Tiefe in Gebiete geringeren Druckes, also nach oben, wandern müssten. Es kann keineswegs geleugnet werden, dass das Riecke'sche Prinzip auch hier Geltung haben muss. Die Frage ist nur die, ob diese Lösungsumlagerung den von Lachmann angenommenen Betrag zu erreichen vermag. Man sollte dann nämlich annehmen, dass alle Salzlagerstätten der Erde annähernd den gleichen Bautypus zeigten, wie diejenigen Nordwestdeutschlands, was durchaus nicht der Fall ist. Ich für meinen Teil bin der Ansicht, dass neben solchen im kleinen gewiss auftretenden Umlagerungen auch die von Rinne experimentell festgestellte Plastizität der Salze von Bedeutung für die

1) Fr. Ed. Suess, a. a. O. p. 414.

2) R. Lachmann. Ueber autoplaste (nichttektonische) Formelemente im Bau der Salzlagerstätten Norddeutschlands. Monatsber. deutsch. geol. Ges., **62**, 1910, p. 113 bis 116. — Ders. Salinare Spaltenerruption gegen Ekzemtheorie. Ibidem p. 597 bis 601.

Lagerung dieser Sedimente ist. Dieser Plastizität hat Harbort[1]) vielleicht eine zu grosse Bedeutung beigelegt, was schon H. Stille[2]) kürzlich zutreffend hervorgehoben hat. Das eigentlich formgebende Element im Bau der norddeutschen Salzlagerstätten ist aber entschieden die Tektonik, und das „Aufsteigen des Salzgebirges" längs langer Linien ist durchaus im Rahmen der nordwestdeutschen Tektonik verständlich, wie dieselbe durch von Koenen und andere, neuerdings insbesondere auch durch die Feststellungen von H. Stille, ausgedeutet worden ist. In welcher Weise die Ablaugung durch das zirkulierende Grundwasser die Entstehung des seit Ochsenius so viel besprochenen „Salzspiegels" bedingt, hat der letztere ebenfalls[3]) klar ausgeführt, bezeichnenderweise ohne auf die Lachmann'schen Hypothesen einzugehen.

Vollkommen irrtümlich ist aber die Anschauung von Lachmann, dass sich Kieseritlagen durch diagenetische Umkristallisierungen direkt nach der Ablagerung zusammengekrümmt hätten. Derartige Krümmungen können wohl entstehen, wenn Gesteinsplatten durch einseitige Umwandlung auch einseitige Volumenänderungen durchmachen, wie z. B. die Anhydritplatten in der Barbarossa-Höhle am Kyffhäuser, die sich durch Wasseraufnahme in Gips umwandeln. Solche Krümmungen und Fältelungen entstehen ferner, wenn bei allgemeiner Volumzunahme ein Aussendruck die Ausdehnung in bestimmten Richtungen unmöglich macht, wie bei der Bildung des Schlangengipses; aber bei einfacher diagenetischer Umkristallisierung treten solche Volumänderungen nicht auf, und damit fällt jeder Grund für Formänderungen der Gesteinskörper im Ganzen fort.

---

1) Zur Geologie der nordhannoverschen Salzhorste. Monatsber. deutsch. geol. Ges., **62**, 1910, p. 335. (Hier wird auch p. 339 bis 340 der Ansicht von Lachmann entgegengetreten.)

2) Das Aufsteigen des Salzgebirges. Zeitschr. f. prakt. Geol., XIX, 1911, p. 98.

3) a. a. O., p. 94 bis 96.

Weiter sprach Herr F. A. Schulze:

## Ueber das Verhalten einiger Reihen von Edelmetall-Legierungen zum Gesetz von Wiedemann und Franz.

Vor kurzem habe ich [1]) gezeigt, wie man die sinnreiche und exakte von F. Kohlrausch [2]) angegebene Methode zur Bestimmung der inneren Wärmeleitung von Metallen so modificieren kann, dass sie auch bei dünnen Drähten anwendbar ist, was in der ursprünglich ihr gegebenen Form nicht möglich war. Diese modificierte Methode war damals nur an solchen Metallen geprüft worden, deren Wärmeleitfähigkeit bereits anderweitig bekannt war. In dem Wunsch, dieses Verfahren noch etwas weiter auszubilden, bevor es zu den eigentlichen Versuchen benutzt wird, für die es ursprünglich geplant war — nämlich die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit Heusler'scher Legierungen in Abhängigkeit von Temperatur und Dauer der Alterung [3]) — wurden mit ihr einige Reihen von Edelmetall-Legierungen untersucht. Zur Verwendung gelangten in Form von Drähten von 1 mm Durchmesser Legierungen von *Ag Pd Pd Pt*, und *Pd Au* von 10 zu 10 %; sie waren von der Firma Heraeus leihweise überlassen. Es waren dieselben, die von Herrn W. Geibel [4]) auf elektrische Leitfähigkeit, Zugfestigkeit und Thermokraft untersucht sind. Das Verfahren war

1) F. A. Schulze, Marb. Ber., 30. Nov 1910, p. 103.

2) F. Kohlrausch, Sitz.-Ber. Berl. Akad., **38**, 711, 1899. Ann. d. Phys., **1**, p. 145, 1900

3) F. A. Schulze, Marb. Ber, 1910, p. 72.

4) W. Geibel, Zeitschr. f. anorg. Chemie, **69**, 38 bis 46, 1910; **70**, 240 bis 254, 1911.

im Prinzip das bereits in der vorigen Mitteilung beschriebene. Nur eine wesentliche Aenderung war noch getroffen worden. Um die als vorhanden angenommene, aber niemals ganz streng zu erfüllende Bedingung zu umgehen, dass die Temperatur des Stabes an den Austrittsstellen aus den Klemmbacken gleich derjenigen des Wassers in den Kupferwürfeln ist, wurden in voller Anlehnung an die von Jaeger und Diesselhorst angegebene Ausführungsform gleichzeitig zwei Schmelzsubstanzen benutzt, deren Schmelzpunkte höher waren als die Temperatur des Wassers. Die Stromstärke wurde dann so reguliert, dass die höher schmelzende Substanz (Caprinsäure) eben in der Mitte des Stabes schmolz; sodann wurden die beiden Stellen des Stabes zu beiden Seiten der Mitte bestimmt, bis zu welchen unter Beibehaltung dieser Stromstärke von der Mitte aus die andere Substanz (Diphenylmethan) geschmolzen war. Es ist dann $\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{V^2}{8\,U}$, wenn $\lambda$ und $\varkappa$ thermisches, bez. elektrisches Leitvermögen sind, $V$ die Potentialdifferenz der beiden äusseren letztgenannten Punkte und $U$ die Differenz der beiden Schmelztemperaturen ist. Aus den von Jaeger und Diesselhorst angegebenen Zahlen für die äussere Wärmeleitfähigkeit ergibt sich leicht, dass bei den hier benutzten Dimensionen und Schmelztemperaturen (Caprinsäure 29°,9, Diphenylmethan 23°,6) der Einfluss der äusseren Wärmeleitung nicht denjenigen der Beobachtungsfehler übersteigt. Es zeigte sich hierbei übrigens, dass man, ohne einen den Einfluss der Beobachtungsfehler übersteigenden Fehler im Resultat für das Leitverhältnis zu erhalten, die Annahme machen kann, dass die Temperatur des Drahtes an den Enden der Klemmbacken gleich derjenigen des Wassers in den Kupferwürfeln ist.

Die Versuche hatten folgende Ergebnisse: Es bestätigte sich durchweg qualitativ das Gesetz von Wiedemann und Franz. Wie das elektrische Leitvermögen nahm auch das thermische Leitvermögen von dem Ausgangswert, den es für

die reinen Metalle hat, mit steigendem Zusatz des anderen Metalles stark ab bis zu einem Minimum, von dem es dann bei weiterem Zusatz wieder anstieg bis zum Endwert für das andere reine Metall. Jedoch war diese Abnahme des thermischen Leitvermögens stets geringer als diejenige des entsprechenden elektrischen und zwar relativ um so geringer, je mehr das elektrische selbst heruntergedrückt war, sodass also demnach der Quotient $\frac{\text{thermisches Leitvermögen}}{\text{elektrisches Leitvermögen}}$ mit steigendem Zusatz des anderen Metalles von dem für das eine reine Metall gültigen Ausgangswert allmählich bis auf über das $1^1/_2$ fache anstieg, um danach wieder abzunehmen bis zu dem Wert, den er für das andere reine Metall hat, Es entspricht dieses Verhalten vollkommen allen bisherigen Versuchen an anderen Metall-Legierungen.

Das ausführliche Zahlenmaterial, sowie die an einigen anderen Edelmetall-Legierungen erhaltenen Resultate sollen an anderer Stelle mitgeteilt werden.

In der Sitzung vom 30. November 1910 hielt Herr Alfred Wegener den Vortrag:

## Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten.

(Vorläufige Mitteilung.)

### Einleitung.

Im Jahre 1903 hat Hann[1]) unter Benutzung der damals gerade bekannt gewordenen Bestimmungen der Edelgase in der Luft durch Ramsay und Rayleigh die Zusammensetzung der Atmosphäre bis zur Höhe von 100 km hinauf berechnet. Er führte diese Berechnung für die Stufen 10, 20, 50 und 100 km aus. Das wesentlichste Ergebnis war, dass der am Erdboden nur in minimalen Spuren nachweisbare Wasserstoff in der Höhe von 50 km bereits 14 Volumprozente erreicht, in 100 km aber 99, sodass hier die Atmosphäre fast aus reinem Wasserstoff bestehen müsste. Obwohl Hann die Bedeutung dieser Beziehungen keineswegs verkannte, war er doch damals noch nicht in der Lage, auf die Frage der Realität dieses zunächst rein rechnerischen Ergebnisses einzugehen. Im Jahre 1909 hat ferner Humphreys[2]) die Rechnungen von Hann mit verbesserten Annahmen über die Temperaturverteilung in der Höhe wiederholt und das Ergebnis in Gestalt einer graphischen Darstellung nach Art der weiter unten zu gebenden veranschaulicht. Die Frage der Realität liess er gänzlich unberührt.

---

1) Die Zusammensetzung der Atmosphäre, Met. Zeitschr. 1903, S. 122. Ein erster Versuch, auf den Bestimmungen von Boussingault basierend, findet sich schon in Zeitschr. d. österr. Ges. f. Met. 1875 S. 22.

2) Distribution of Gases in the Atmosphere, Bull. of the Mount Weather Observatory II, 2. Vergl. auch Jeans, ebendort II, S. 347, 1910.

Einstweilen noch ganz unabhängig von diesen Arbeiten habe ich im gleichem Jahre 1909 die folgende Vermutung ausgesprochen[1]: „Die Frage, ob es auch hier (oberhalb der grossen Schichtgrenze bei 11 km Höhe) noch ähnliche markante Schichtgrenzen gibt, sind wir keineswegs zu verneinen berechtigt..... Schon jetzt kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit die Vermutung aufstellen, dass sich ein solcher Sprung in der Dichte etwa bei 70—80 km Höhe befindet, nämlich weil hier die Krakatauwolken ihr Aufsteigen beendet haben, und weil zugleich diese Höhe ungefähr dieselbe ist, bis zu welcher noch diffuse Reflexion bemerkt wird." Im Winter 1909/10 habe ich ferner, ohne die Arbeit von Humphreys zu kennen, Hanns Rechnung mit engeren Intervallen wiederholt, um das Verhalten in der Höhe der zu erwartenden Schichtgrenze kennen zu lernen. Es ergab sich das Resultat[2]), „dass in der Höhe der erwarteten Schichtgrenze die Zusammensetzung der Luft sich ausserordentlich rasch ändert, sodass man berechtigt ist, die darunter liegenden Schichten als Stickstoffatmosphäre, die darüber liegenden als Wasserstoffatmosphäre zu bezeichnen."

Wiederum ganz unabhängig sowohl von Humphreys wie von meiner Arbeit hat gleichzeitig mit letzterer v. dem Borne, lediglich auf die Berechnungen von Hann zurückgreifend, die merkwürdigen Schallphänomene der Dynamitexplosion an der Jungfraubahn auf Reflexion der Schallstrahlen an einer oberen Wasserstoffsphäre zurückgeführt[3]).

In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch gemacht, diese bisher zerstreuten Resultate zu einem Gesamtbilde zu

---

1) Probleme der Aerologie, das Wetter 1909, Heft 11, S. 13.

2) Ueber eine neue fundamentale Schichtgrenze der Erdatmosphäre, Beitr. z. Phys. d. freien Atm. III, Heft 4, 1910. Das Heft wurde am 10. Juni ausgegeben, die Empfangsbestätigung der Redaktion ist datiert 25. Februar 1910.

3) Schallverbreitung bei Explosionkatastrophen, Phys. Zeitschr. XI, 1910, Nr. 11, S. 483 (mit dem Vermerk: eingegangen am 12. April 1910).

vereinigen, und dasselbe durch Heranziehung weiteren, bisher unbeachtet gebliebenen Materials zu ergänzen. Darüber hinaus soll aber gezeigt werden, dass höchst wahrscheinlich ausser dem bei der Schichtgrenze in 70 km Höhe befindlichen noch ein zweiter, wenn auch weniger plötzlicher Umschlag in der Zusammensetzung bei circa 200 km vorhanden ist, und dass oberhalb dieser Höhe allem Anscheine nach eine neue Sphäre eines unbekannten Gases liegt, das noch leichter als Wasserstoff ist, und dessen Spektrum die grüne Polarlichtlinie bei 557 $\mu\mu$ zeigt (vergl. Abb. 1). Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Sphäre dieses neuen Gases, dem wir wegen seiner Aehnlichkeit mit dem Coronium der Sonnenatmosphäre den Namen „Geocoronium" beilegen wollen, mit den Erscheinungen des Zodiakallichtes in unmittelbarem Zusammenhange steht; jedenfalls aber dürfte sie die äusserste Gashülle der Erde darstellen, so dass durch ihre Erforschung ein abgeschlossenes, im wesentlichen vollständiges Bild der Atmosphäre gewonnen wird. Im folgenden soll das diese Dinge betreffende Material, wenn auch nur gekürzt, besprochen werden. Eine ausführlichere Darstellung wird an anderer Stelle erfolgen.

## I. Die Schichtgrenze bei 70 km Höhe.

### *1) Stufen der Lichtreflexion in der Atmosphäre.*

Bekanntlich werden durch die Unstetigkeiten der Dichteabnahme mit der Höhe und die damit verbundenen Erscheinungen charakteristische Helligkeitssprünge am Dämmerungshimmel hervorgerufen. Durch Beobachtung der letzteren haben wir daher auch umgekehrt die Möglichkeit, auf Schichtgrenzen zu schliessen und ihre Höhe zu bestimmen. Z. B. ist der sogenannte erste Dämmerungsbogen offenbar identisch mit der durchstrahlten Troposphäre. Aus dem Depressionswinkel der Sonne beim Verschwinden dieses ersten Dämmerungsbogens, den Miethe und Lehmann zu

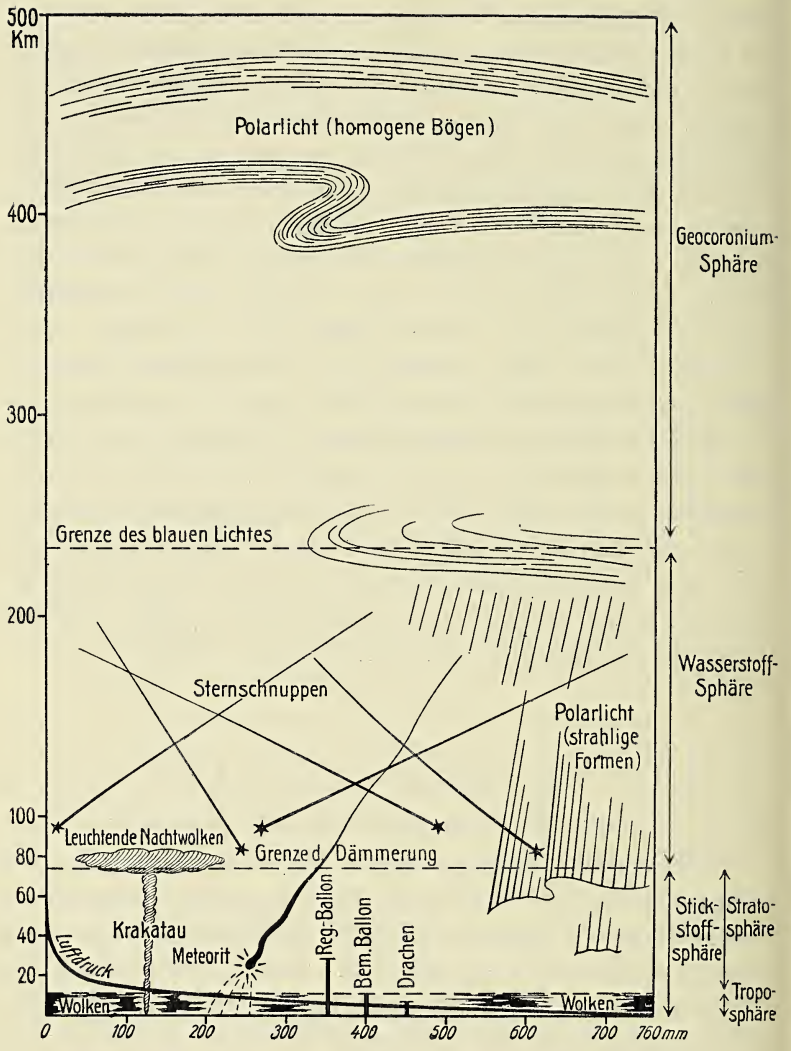



Abb. 1. Querschnitt der Atmosphäre.

8° fanden[1]), berechnet sich die Höhe des zugehörigen Dichtigkeitssprunges unter Berücksichtigung der Refraktion zu etwa 11 km, also in der Tat übereinstimmend mit der Grenze zwischen Troposphäre und Stratosphäre. Die meisten derartigen Messungen sind jedoch an dem Hauptdämmerungsbogen ausgeführt und ergeben für den Augenblick, an welchem der Dämmerungsbogen gerade unter dem Horizonte versinkt bezw. auftaucht, einen Depressionswinkel der Sonne von etwa 17,4°[2]). Bei genäherter Rechnung ergibt sich daraus für die obere Grenze der hier in Betracht kommenden lichtreflektierenden Schichten eine Höhe von 74 km.

Das Vorhandensein eines derartigen, verhältnismässig scharf zu lokalisierenden Helligkeitssprunges im Dämmerlicht deutet mit Entschiedenheit auf eine in der angegebenen Höhe liegende Schichtgrenze hin.

*2) Die leuchtenden Nachtwolken.*

Die vom Jahre 1885 ab beobachteten und seit 1887 auch photogrammetrisch verfolgten sogenannten leuchtenden Nachtwolken sind sämtlich in Höhen zwischen 70 und 83 km aufgetreten[3]). Bekanntlich nimmt man an, dass diese Wolken Produkte des bereits 1883 erfolgten Ausbruches des Vulkans Krakatau in der Sundastrasse darstellen. Hierbei kann es sich aber nicht mehr um feste Auswurfsstoffe handeln, wie etwa bei dem vulkanischen Staub, der noch lange Zeit nach der Eruption die bekannten abnormen Dämmerungserscheinungen hervorrief[4]). Während diese Staubmassen sich

1) Met. Zeitschr. 1909, S. 97.

2) Pernter-Exner, Meteorolog. Optik, IV. Abschnitt, Wien und Leipzig 1910, S. 767.

3) O. Jesse, Untersuchungen über die sogen. leuchtenden Nachtwolken, Sitz.-Ber. d. Kgl. Preuss. Akad. d. Wiss. in Berlin, Mai 1891 (eine frühere Arbeit ebendort 1890).

4) Kiessling, Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen, Hamburg u. Leipzig 1888.

längst zu Boden gesenkt hatten, blieben die leuchtenden Nachtwolken noch viele Jahre hindurch sichtbar und dürften erst seit kurzer Zeit als definitiv verschwunden gelten. Wir haben uns offenbar vorzustellen, dass bei dem Vulkanausbruch ungeheuere Mengen von Wasserdampf bis in diese Höhen hinaufgestiegen sind und sich hier horizontal ausgebreitet haben. Die Wolken selber wären dann in derselben Weise entstanden wie ein gewöhnlicher Cirrostratus, nämlich infolge adiabatischer Hebung der Schichtgrenze. Die einzelnen Wolken brauchen also keinen langen Bestand gehabt zu haben; wohl aber ist dies der Fall gewesen mit den Wasserdampfmengen, deren Beseitigung ja nur durch die langsam wirkende Diffusion möglich war.

Der Auffassung dieser leuchtenden Nachtwolken als vulkanische Produkte bereitet die im Jahre 1902 von Teisserenc de Bort und Assmann gemachte Entdeckung der isothermen Schichten oberhalb 11 km Höhe eine grosse Schwierigkeit, da diese im allgemeinen die aufsteigenden Gasmassen abfangen und zur seitlichen Ausbreitung zwingen. Hiermit steht auch in Uebereinstimmung, dass die Rauchsäulen grosser vulkanischer Eruptionen, soweit sie gemessen worden sind, stets nur bis zu dieser Höhe hinaufreichten. Da indessen schon mehrfach in vulkanischen Gasen ein hoher Prozentsatz von Wasserstoff gefunden worden ist, so erscheint die Annahme berechtigt, dass auch die Ausbruchsgase des Krakatau einen ähnlich hohen Prozentsatz dieses Gases besassen, und dass sie gerade hierdurch befähigt waren, die Atmosphäre bis zu derjenigen Höhe zu durchsteigen, welche, wie weiter unten zu zeigen ist, die Grenze zwischen der Stickstoff- und der Wasserstoffsphäre darstellt.

Für die vorliegende Untersuchung ist das wesentlichste, dass diese Ausbruchsgase des Krakatau überhaupt gerade in dieser Höhe ihr Aufsteigen beendet und sich seitlich ausgebreitet haben. Schon diese Tatsache allein würde die Annahme berechtigt erscheinen lassen, dass hier eine markante

Schichtgrenze der Atmosphäre zu suchen ist. Der Umstand, dass diese Höhe so gut wie völlig mit derjenigen zusammenfällt, welche der oberen Grenze des Hauptdämmerungsbogens entspricht, bildet eine unabhängige Bestätigung dieser Annahme.

## II. Die Wasserstoffsphäre oberhalb 70 km Höhe

*1) Die Zusammensetzung der Luft nach den Gasgesetzen.*

Die folgende Tabelle gibt zunächst die Zusammensetzung der Luft am Erdboden in Volumprozenten.

| | Mol. Gew. | Volumprozente am Erdboden |
|---|---|---|
| (Geocoronium, einatomig | ca. 0,4 | ca. 0,00058 hypothetisch) |
| Wasserstoff $H_2$ | 2,02 | 0,0033 (Gautier-Rayleigh) |
| Helium He | 4,0 | 0,0005 (Claude) |
| Wasser $H_2O$ | 18,02 | variabel 0—4 |
| Neon Ne | 20,0 | 0,0015 (Claude) |
| Stickstoff $N_2$ | 28,02 | 78,06 (Leduc) |
| Sauerstoff $O_2$ | 32,00 | 20,90 |
| Argon Ar | 39,9 | 0,937 |
| Kohlensäure $CO_2$ | 44,0 | 0,029 (var.) |
| Ozon $O_3$ | 48,0 | Spuren (Thierry) |
| Krypton Kr | 83,0 | ca. 0,0001 |
| Xenon X | 130,7 | ca. 0,000005. |

Ueber das von uns hierbei eingeführte hypothetische Gas „Geocoronium“ wird weiter unten ausführlich die Rede sein. Auch die übrigen Gase sind wenigstens quantitativ zum Teil erst unsicher bestimmt. Diese Unsicherheit spielt indessen für die folgenden Berechnungen nur bei denjenigen Gasen eine Rolle, welche leichter sind als die Hauptbestandteile der Luft, Stickstoff und Sauerstoff, vor allem also beim Helium, Wasserstoff und Geocoronium. Die quantitativen Annahmen über das letztere beruhen wiederum auf dem Wasserstoff, so dass sich die Unsicherheit bei diesem Gase

am fühlbarsten macht. Im wesentlichen sind wir hier auf eine Bestimmung angewiesen, welche von Gautier[1]) herrührt. Er fand 0,02 Volumprozente. Rayleigh hat seine Messung kritisiert[2]) und nimmt nur 0,0033 Volumprozente an, und andere Physiker haben sich ihm angeschlossen. Gautier selbst glaubt indessen seine Angabe aufrecht erhalten zu können und hat seinerseits manche Anhänger; Hann und Humphreys haben infolgedessen einen mittleren runden Wert von 0,01 Volumprozenten benutzt. In der vorliegenden Arbeit ist dagegen der von Rayleigh angegebene Wert zu Grunde gelegt worden. Eine später von Claude ausgeführte Messung ist nach seinen eigenen Angaben mit zu grossen Fehlern behaftet, um berücksichtigt zu werden. — Man sieht also, dass der Ausgangswert der Rechnung hier sehr unsicher ist.

Die Berechnung der Zusammensetzung für die verschiedenen Höhen geschieht in der Weise, dass man sich die Partialdrucke der Gase einzeln berechnet, wobei man in die barometrische Höhenformel

$$log\ nat \left(\frac{po}{p}\right) = \frac{h}{H(1 + \alpha t)}$$

($po$ = Druck in der Ausgangshöhe, $p$ = Druck in der um $h$ grösseren Höhe, $\alpha = {}^1/_{273}$ der Ausdehnungskoeffizient der Gase, $t$ = Mitteltemperatar der Luftsäule $h$ in Graden Celsius) für $H$ die charakteristische Barometerkonstante („Höhe der homogenen Atmosphäre") des betreffenden Gases einzusetzen hat. Durch Summation der Partialdrucke aller Gase erhält man den Gesamtluftdruck, und das Verhältnis der Partialdrucke zu diesem gibt unmittelbar die Volumprozente. Wenn man die Mitteltemperatur der untersten 10 km gleich — 23° C. setzt und darüber überall — 55° annimmt, so erhält man das folgende Resultat:

---

1) Ann. d. Chem. XXII, 1901, Jan.
2) Phil. Mag, VI. Ser., Vol. 3, April 1902, S. 416.

Zusammensetzung der Luft in Vulumprozenten

| Höhe km | Luftdruck mm | Geocoronium | Wasserstoff | Helium | Stickstoff | Sauerstoff | Argon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 760 | 0,00058 | 0,0033 | 0,0005 | 78,1 | 20,9 | 0,937 |
| 20 | 41,7 | 0 | 0 | 0 | 85 | 15 | 0 |
| 40 | 1,92 | 0 | 1 | 0 | 88 | 10 | — |
| 60 | 0,106 | 4 | 12 | 1 | 77 | 6 | — |
| 80 | 0,0192 | 19 | 55 | 4 | 21 | 1 | — |
| 100 | 0,0128 | 29 | 67 | 4 | 1 | 0 | — |
| 120 | 0,0106 | 32 | 65 | 3 | 0 | — | — |
| 140 | 0,00900 | 36 | 62 | 2 | — | | — |
| 200 | 0,00581 | 50 | 50 | 1 | | | |
| 300 | 0,00329 | 71 | 29 | — | | | |
| 400 | 0,00220 | 85 | 15 | | | | |
| 500 | 0,00162 | 93 | 7 | | | | |

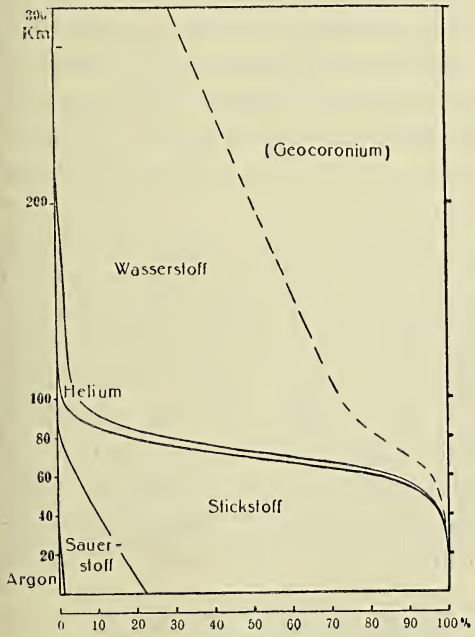



Abb. 2. Zusammensetzung der Atmosphäre.

Diese Zahlen sind durch Abb. 2 veranschaulicht[1]); man erhält aus ihr die Zusammensetzung für eine bestimmte Höhe, indem man durch dieselbe die Horizontale legt und auf dieser abliest, wieviel Prozent in das Feld des Stickstoffs, des Sauerstoffs etc. fallen.

Der Umschlag in der Zusammensetzung, welcher sich hiernach

1) Die numerische Berücksichtigung des Geocoroniums ist erst nachträglich, Februar 1911, erfolgt.

in etwa 70 km Höhe befindet, ist infolge der grossen Verschiedenheit der Molekulargewichte der beiden in Betracht kommenden Gase Stickstoff und Wasserstoff ein ausserordentlich plötzlicher. Das Interessanteste ist aber, dass diese markante Trennung zwischen den beiden Gasen gerade in derjenigen Höhe eintritt, in welcher wir bereits aus ganz anderen Gründen eine Schichtgrenze anzunehmen genötigt waren. Hierdurch wird diese letztere Annahme ganz ausserordentlich gestützt.

*2) Akustische Zeugnisse.*

Es sind bereits verschiedene Fälle von einer ausserordentlich weiten Hörbarkeit von Geschützdonner und ähnlichen Schallphänomenen bekannt geworden. Am sorgfältigsten hat de Quervain[1]) die Dynamitexplosion vom 15. November 1908 an der Jungfraubahn geschildert. Das merkwürdige bei diesem Phänomen besteht darin, dass ausser einem die Explosionsstelle umgebenden Gebiet normaler Hörweite ein zweites, noch viel ausgedehnteres Gebiet abnormer Hörweite vorhanden war, welches von ersterem durch eine rund 100 km breite „Zone des Schweigens" getrennt war. V. dem Borne hat in seiner eingangs erwähnten Arbeit diese Erscheinung auf die Schallreflexion an der Wasserstoffsphäre zurückgeführt und erzielt hierdurch eine erheblich vollkommenere Erklärung der Erscheinung als bei den früheren Versuchen, dieselben auf die Wirkung des Windes zurückzuführen. Da die Schallgeschwindigkeit in gewöhnlicher Luft nur etwa 330 m. p. s., im Wasserstoff aber 1280 m. p. s. beträgt, so müsste, falls eine scharfe Schichtgrenze vorhanden wäre, schon bei einem Einfallswinkel von 15° Totalreflexion eintreten, und der Strahl würde, wenn er im übrigem gradlinig

1) Die Erdbeben der Schweiz im Jahre 1908 nnd die Schallverbreitung der Dynamitexplosion an der Jungfraubahn am 15. November. Annal. d. schweiz. Met. Centr. Anstalt Jahrg. 1908.

verliefe, in 40 km Abstand von der Schallquelle wieder die Erde erreichen. Von hier ab nach aussen zu läge eine zweite Hörbarkeitszone ohne scharfe äussere Begrenzung. Indem v. dem Borne nun einmal die Krümmung berücksichtigt, welche die Schallstrahlen innerhalb der Troposphäre wegen der hier herrschenden Temperaturabnahme mit der Höhe erleiden müssen, und indem er andererseits in Rechnung zieht, dass die beiden Gase an der Schichtgrenze nicht scharf getrennt sind, sodass auch keine eigentliche Reflexion, sondern nur ein allmähliches Herumbiegen der Schallstrahlen erfolgen kann, gelingt es ihm zu zeigen, dass hierdurch der vorerwähnte Abstand von 40 km auf etwa 120 km hinausgeschoben wird, was mit den Beobachtungen sehr gut stimmt.

Es erscheint nicht ausgeschlossen, dass man diese Schallphänomene zu einer weiteren Erforschung der genannten Schichtgrenze systematisch verwenden kann. Bei geeigneten Vorbereitungen würden höchst wahrscheinlich schon erheblich geringere Schallintensitäten, beispielsweise einzelne Kanonenschüsse, genügen, und derartige Versuche würden sich wahrscheinlich ohne allzugrosse Kosten auf Schiessplätzen anstellen lassen.

*3) Kriterien aus den Erscheinungen der Meteore.*

Die zahlreichen Höhenbestimmungen der Sternschnuppen ergeben mit grosser Uebereinstimmung das Resultat, dass dieselben bei etwa 150 km aufleuchten und bei etwa 80 km erlöschen [1]). Wenn wir, den weiteren Ausführungen vorgreifend, die obere Grenze der Wasserstoffsphäre bei etwa 200 km annehmen, so sieht man, dass sich diese Erscheinungen ganz innerhalb der letzteren abspielen. Im Gegensatz zu diesen Sternschnuppen treten diejenigen Meteoriten,

1) Brezina, Die Meteoriten vor und nach ihrer Ankunft auf der Erde; Vorträge d. Ver. z. Verbreit. naturw. Kenntn. in Wien; Wien 1893; u. a.

welche mit einer Explosion endigen und meist ihre Bestandteile zur Erde herabfallen lassen, mehr oder weniger weit in die Stickstoffsphäre ein. Die Untersuchungen von G. v. Niessl[1]) über die Explosionshöhen der Meteoriten zeigen, dass diese zwischen etwa 3 und 50 km Höhe variieren, also durchweg in der Stickstoffsphäre liegen. Von Interesse ist dabei, dass auch diese Meteoriten in der ersten Phase ihrer Erscheinung durchaus den Charakter der Sternschnuppeu tragen, und dass erst von einem bestimmten Punkte ihrer Bahn ab eine erheblich stärkere Lichtentfaltung eintritt. Offenbar macht sich hierin die Einwirkung des trägeren Stickstoffs geltend, der nicht so schnell ausweicht und daher viel stärker komprimiert wird als der beweglichere Wasserstoff. Ob mit der Zunahme des Sauerstoffgehalts etwa noch Verbrennung hinzutritt, muss dahingestellt bleiben. Die eigentlichen Sternschnuppen, welche garnicht bis zum Sauerstoff herabdringen, können jedenfalls nur verdampfen. Die Ursache der Explosion ist noch nicht aufgeklärt; möglicherweise ist sie auf die Zentrifugalkraft bei immer rascher werdender Rotation zurückzuführen, welche schliesslich zur Zersprengung führt. Der Beginn der Rotation ist häufig wahrzunehmen, da die Flugbahn dann schwach schraubenförmige Gestalt hat.

Von grossem Interesse sind die spektroskopischen Untersuchungen, welche gelegentlich an Sternschnuppen und Meteoren gelungen sind. Brauchbar sind allerdings nur die photographischen Aufnahmen, die von Pickering und Blajko mit Hülfe eines Objektivprismas erhalten wurden. Die Aufnahme von Pickering[2]) zeigt mit grosser Deutlichkeit die Wasserstofflinien, sowie einige schwächere un-

1) Sitz.-Ber. d. Kais. Akad. der Wiss. zu Wien, 1884, Bd. 89, 2. Abt., S. 283.

2) E. C. Pickering, Spectrum of a meteor, Harvard College Observat. Circul. 20; Nat. 57 p. 101 (1897); Astrophys. J. 6 p. 461—462 (1897).

bekannte Linien. Blajko[1]) erhielt zwei Aufnahmen, die einander sehr ähnlich, aber von den Pickering'schen verschieden sind. Ausser einer grossen Zahl schwächerer Linien zeigt sich in ihnen hauptsächlich eine ausserordentlich starke, welche das einemal zu 393, das anderemal zu 389 $\mu\mu$ gemessen wurde. Ich halte diese beiden Linien für identisch, und zwar für übereinstimmend mit der im photographischen Nordlichtspektrum ausserordentlich stark hervortretenden Stickstofflinie bei 391 $\mu\mu$. Die Blajko'schen Meteore scheinen also zur Zeit der Aufnahme bereits in die Stickstoffsphäre eingedrungen zu sein.

Nur ganz kurz sei hingewiesen auf die Gaseinschlüsse, welche fast stets in den zur Erde herabgelangten Meteoriten gefunden werden[2]). So enthalten namentlich die Meteoreisen grosse Mengen von Wasserstoff. Da zur Erklärung dieser Gaseinschlüsse wenigstens teilweise auch von der Annahme Gebrauch gemacht wird, dass dieselben entweder in der Atmosphäre erst aufgenommen oder doch hier verändert worden sind, so werden auch diese Dinge einer Revision nach den vorliegenden Gesichtspunkten bedürfen. Freilich ist es bei der sonstigen Wesensgleichheit von Sternschnuppen und Kometen wahrscheinlich, dass wie in den letzteren, so auch in den zur Erde gelangenden Meteoriten die Gaseinschlüsse bereits vorhanden sind, wenn sie sich noch ausserhalb der Erdatmosphäre bewegen.

*4) Die Wasserstofflinien im Spektrum des Polarlichtes.*

Es ist von grosser Bedeutung für die vorliegende Untersuchung, dass das Spektrum des Polarlichtes die Wasserstofflinien enthält und so die Anwesenheit dieses Gases in

---

1) S. Blajko, On the spectra of two meteors, Astrophys. J. **26**, p. 341—348 (1907).

2) Cohen, Meteoritenkunde, Heft I. (Untersuchungsmethoden und Charakteristik der Gemengteile) Stuttgart 1894 S. 178.

grossen Höhen dokumentiert. Besonder deustlich geht dies allerdings weniger aus den neueren photographischen Aufnahmen, als gerade aus den älteren Ocularbeobachtungen hervor. Der Grund hierfür ist der, dass die photographischen Aufnahmen die Linien zwar mit anscheinend grosser Präzision, aber stets nur die hellsten geben, und die Wasserstofflinien gerade zu den schwächeren im Polarlichtspektrum gehören. Die wichtigste in Frage kommende Beobachtungsreihe ist diejenige von Carlheim-Gyllenskjöld[1]). Sowohl in dieser Reihe wie auch in der grossen Zusammenstellung von Ocularbeobachtungen in H. Kaysers Handbuch der Spektroskopie[2]) sind die Wasserstofflinien mit voller Deutlichkeit erkennbar, und zwar nicht nur ihren Wellenlängen nach, sondern auch nach der Intensität, wenn man Rücksicht nimmt auf die von Frankland und Lockyer nachgewiesene Verschiebung des Lichtmaximums von der roten auf die grüne Linie, die bei sehr weitgehender Druckerniedrigung eintritt. Von besonderem Interesse ist auch eine Zusammenstellung bei Carlheim-Gyllenskjöld, aus welcher hervorgeht, dass sich Kopf und Fuss der Nordlichtstrahlen spektroskopisch unterscheiden, indem am Kopf die Wasserstofflinien häufiger sind als am Fuss, während für die Linien des Stickstoffs das Umgekehrte gilt.

Von der grössten Bedeutung für das Verständnis der Spektrums ist die Höhenlage der Lichterscheinung. Das Kapitel der Höhenmessung des Polarlichts ist jedoch ein so schwieriges, dass hier nicht näher darauf eingegangen werden kann. Noch heute nehmen manche Forscher an, dass die garnicht selten erhaltenen Höhen unter 50 km auf Täuschungen zurückzuführen sind. Besonders häufig und einwandsfrei ist die Höhe von 60 km für den Unterrand der Draperien in

1) Observations faites au Cap Thordsen, Spitzberg, par l'Expédition Suédoise; (internationale Polarforschung 1882—83), Tome II, 1, Aurores Boréales; Stockholm 1886, S. 166.

2) V. Band, Leipzig 1910, S. 47.

Polargebieten gemessen worden. Diese Strahlen würden also noch gerade in die Stickstoffsphäre hineinreichen. Von Interesse ist dabei, dass der Druck in dieser Höhe gerade 0,1 mm, also derselbe ist, bei welchem in Geissler'schen Röhren Kathodenstrahlen auftreten. Da namentlich nach den neuen Untersuchungen Störmers das Polarlicht auf Kathodenstrahlen zurückzuführen ist, die von der Sonne kommend durch das Feld des Erdmagnetismus abgelenkt werden und auf der Schattenseite in die Erdatmosphäre eintreten, so wäre es in der Tat sehr plausibel, dass sie alle Schichten mit geringerem Druck als dem angegebenen noch durchdringen, wenngleich mit Energieverlust und Lichtentwickelung, aber in der Höhe von 60 km vollständig absorbiert werden.

Es ist zu erwarten, dass man durch gleichzeitige Höhenmessung und spektroskopische Untersuchung das Polarlicht geradezu als ein von der Natur selbst im grossen Stil veranstaltetes Experiment wird benutzen können, um uns vollständigen Aufschluss über die Natur der höchsten Atmosphärenschichten zu verschaffen; denn es kann kein Zweifel sein, dass das Polarlicht lediglich das Spektrum desjenigen Gasgemisches liefert, in welchem es sich abspielt.

### III. Der zweite Umschlag in der Zusammensetzung bei etwa 200 km und die Geocoroniumsphäre.

Die Ausführungen dieses Kapitels sind, wie gleich vorausgeschickt sei, mit einem wesentlich höheren Grad von Unsicherheit behaftet.

#### *1) Die blaue Nachdämmerung.*

Mit dem Versinken des Hauptdämmerungsbogens unter dem Horizont hört noch keineswegs jede Lichtwirkung in der Atmosphäre auf, sondern wir haben es hier nur mit einer markanten Helligkeitsstufe zu tun, welche auf die verschiedene Intensität der diffusen Reflexion in der Stickstoff- und der Wasserstoffsphäre zurückzuführen ist. Es ist

auch nach diesem Zeitpunkt noch ein weiterer bläulicher Nachdämmerungsbogen von sehr geringer Lichtintensität vorhanden. Nach der anscheinend bisher einzigen Beobachtung über das Verschwinden dieses blauen Dämmerungsbogens, welche von See in Washington herrührt, berechnet sich die obere Grenze der hier in Frage kommenden lichtreflektierenden Schichten zu ca. 214 km. Es ist ausserordentlich wahrscheinlich, dass wir es hier mit der oberen Grenze der Wasserstoffsphäre zu tun haben. Allerdings dürfen wir aus Gründen, die weiter unten erörtert werden sollen, keine scharfe Trennung mehr zwischen der Wasserstoffsphäre und der darüber liegenden Sphäre eines hypothetischen, noch leichteren Gases annehmen, sondern, wie Abb. 2 zeigt, einen sehr allmählichen Uebergang. Wir deuten daher die Beobachtung von See in der Weise, dass in der von ihm gefundenen Höhe von rund 200 km der Wasserstoff aufhört, der vorherrschende Bestand der Atmosphäre zu sein, d. h. dass er in dieser Höhe gerade 50 Volumprozente ausmacht. Weitere Beobachtungen über diesen blauen Dämmerungsbogen erscheinen dringend wünschenswert.

*2) Kriterien aus dem Polarlichtspektrum.*

Die früher oft geäusserte Annahme, dass die obersten Schichten der Erdatmosphäre aus reinem Wasserstoff bestehen, erscheint wegen der Beschaffenheit des Polarlichtspektrums unhaltbar; denn es ist niemals ein Spektrum beobachtet worden, welches nur die Wasserstofflinien zeigte, vielmehr treten diese stets gleichzeitig mit den Linien anderer Gase auf. Meist sind dies Stickstofflinien, welche von denjenigen Strahlen herrühren, die bis zur Stickstoffsphäre oder noch weiter hinunter reichen. Dazu gesellt sich aber noch ein anderes Spektrum, das im wesentlichen nur aus der einen Linie 557 $\mu\mu$, der Hauptlinie des ganzen Polarlichtspektrums, besteht. Und dieses neue Spektrum tritt gerade bei den höchsten, jedenfalls oberhalb 200 km liegenden

Polarlichtern als einziges auf, ohne Hinzutreten der Linien des Wasserstoffs oder des Stickstoffs. Es sind dies diejenigen Polarlichter, welche man als homogene Bögen bezeichnet und die keine strahlige Struktur besitzen. Nach Paulsens Messungen auf Island besitzen sie eine Höhe von mindestens 400—500 km über der Erde[1]). Nach einer Mitteilung, welche mir in dankenswerter Weise Herr La Cour, der Mitarbeiter Paulsens, zukommen liess, geben diese homogenen Bögen ausschliesslich die Linie 557, während bei den strahligen Formen stets auch andere Linien auftraten. Zu demselben Resultat kommt man bei einer entsprechenden Diskussion der Beobachtungen von Carlheim-Gyllenskjöld. Damit dürfte aber erwiesen sein, dass diese Linie das Spektrum eines unbekannten Gases bildet, welches in grosser Ausdehnung noch über der Wasserstoffsphäre liegt.

Da wir nun einerseits nach dem eben gesagten den Bereich der Wasserstoffzone möglichst zu beschränken haben, andererseits aber die Sternschnuppen durch ihr Aufleuchten von 200 km abwärts anzeigen, dass hier an Stelle des fast trägheitslosen Geocoroniums bereits der trägere Wasserstoff in erheblichen Mengen vorhanden ist, so erscheint unsere frühere Annahme gerechtfertigt, dass bei 200 km Höhe ca. 50 Volumprozente Wasserstoff und 50 Prozent Geocoronium vorhanden sind.

*3) Analogien zur Sonnenatmosphäre.*

Die vorliegende Betrachtung eröffnet auch höchst interessante Analogien zur Sonnenatmosphäre. Auch dort ist in Gestalt der Chromosphäre eine beiderseits ziemlich scharf begrenzte Wasserstoffsphäre vorhanden. Auch das Helium scheint dort in einer ganz ähnlichen Anordnung vorzukommen

1) A. Paulsen, Sur les récentes Théories de l'aurore polaire, Bull. de l'Académie R. des Sciences de Danmark 1906, Nr. 2. Eine vollständige Bearbeitung ist wegen Paulsens inzwischen erfolgten Todes noch nicht erschienen.

wie in der obigen, für die Erdatmosphäre gültigen Berechnung. Oberhalb der Wasserstoffsphäre sehen wir auch bei der Sonne noch ein anderes, offenbar leichteres Gas, das Coronium, dessen sehr ausgedehnter Bereich bei Gelegenheit von totalen Sonnenfinsternissen sichtbar wird. Der Umstand, dass die Kometen 1680, 1843 I, 1880 I, 1882 II und 1887 I ohne merkbaren Widerstand durch die Sonnencorona hindurchgingen, ist ein Beweis für die ausserordentlich geringe Trägheit des Coroniums. Ganz entsprechend passieren auch die Meteoriten ohne nachweisbare Hemmung die Geocoroniumzone der Erdatmosphäre und können erst den viel trägeren Wasserstoff hinreichend vor sich komprimieren, um ihn zum Glühen zu bringen.

Wegen dieser vollkommenen Analogie ist es naheliegend, das unbekannte irdische Gas mit dem gleichfalls unbekannten Element der Sonnencorona zu identifizieren. Der Hinblick auf diese Möglichkeit war auch ausschlaggebend bei der Wahl des provisorischen Namens „Geocoronium". Einstweilen stösst diese Identifizierung noch auf Schwierigkeiten, da die Spektren verschieden sind. Das Coronium der Sonne ist durch eine grüne Linie bei 532 charakterisiert, während die Polarlichtlinie bei 557 $\mu\mu$ liegt. Berücksichtigt man aber, dass alle Elemente über mehrere, oft viele verschiedene Spektra verfügen, welche je nach den Versuchsbedingungen aus unbekannten Ursachen mit einander abwechseln, dass speziell Bogenspektrum, Funkenspektrum, Flammenspektrum und das Spektrum in der Geissler-Röhre im allgemeinen verschieden von einander sind, so dürfen wir offenbar aus diesem Unterschied der Spektren noch nicht schliessen, dass auch die Gase verschieden sind, zumal wenn wir beachten, dass es sich beim Polarlicht offenbar um elektrisches Glühen, in der Sonnencorona aber um Temperaturglühen handelt. Die vollkommen parallele Art des Auftretens in der Sonnen- und Erdatmosphäre, sowie das ihnen zuzuschreibende ausserordentlich geringe spezifische Gewicht scheinen mir dagegen

schwerwiegende Argumente für die Identität zu bilden. Ich halte deshalb die letztere für sehr wahrscheinlich, doch werden natürlich alle Bedenken erst dann beseitigt sein, wenn es gelingt, das Problem der Spektren zu lösen.

*4) Das neue Gas Geocoronium.*

Im vorangehenden sind bereits die Gründe für die Annahme dieses Gases besprochen. Es sei bemerkt, dass Scheiner diese Vermutung bereits früher geäussert hat[1]). Huggins, Ramsay, Schuster u. a. haben allerdings darauf hingewiessen, dass die Polarlichtlinie innerhalb der Fehlergrenze mit der Hauptlinie des Kryptons zusammenfällt[2]). Bei dem grossen spezifischen Gewicht dieses Gases ist eine solche Hypothese aber unhaltbar, da der Ursprung der Polarlichtlinie, wie oben gezeigt wurde, gerade in den höchsten Schichten der Atmosphäre zn suchen ist. Das gleiche gilt von den Versuchen, dieselbe mit einer Argonlinie zu identifizieren.

Es ist für unsere Hypothese von grossem Interesse, dass Mendeléeff aus dem von ihm aufgestellten periodischen System der Elemente den Schluss gezogen hat, es müsste noch ein Gas geben, das leichter als Wasserstoff ist, etwa von dem Atomgewicht (einatomig) 0,4, so dass es nur $^1/_5$ vom spezifischen Gewicht des Wasserstoffs besässe[3]). Bei der glücklichen Hand, welche dieser Forscher bei dem auf gleiche Weise vorausgesagten Germanium bewiesen hat, erscheint diese Hypothese sehr beachtenswert. Da wir weiter keine Anhaltspunkte über die Eigenschaften des Geocoroniums besitzen, so haben wir der oben gegebenen Berechnung diesen von Mendeléeff angenommenen Wert zu Grunde gelegt. Indem weiterhin, wie schon erwähnt, angenommen wird, dass

1) Spektralanalyse der Gestirne, Leipzig 1890, S. 341.

2) W. Ramsay, Die Gase der Atmosphäre und die Geschichte ihrer Entdeckung; Deutsch von Huth, Halle 1907, S. 146.

3) Chem. Centralblatt 1904 I, 137; Prometheus 15, 97.

in 200 km Höhe die Partialdrucke des Wasserstoffs und des Geocoroniums einander gleich sind, lässt sich die quantitative Berechnung des Geocoroniums an die des Wasserstoffs anlehnen und man erhält so die oben angegebenen Werte. Die grosse Unsicherheit dieser Rechnung darf natürlich nicht aus dem Auge gelassen werden. Sie ist nicht nur mit allen Fehlern der Wasserstoffbestimmung behaftet, sondern stützt sich obendrein noch auf zwei weitere, quantitativ noch ganz unsichere Hypothesen. Dennoch darf aber die Rechnung keineswegs als ganz illusorisch betrachtet werden, solange es sich nur darum handelt, das Bild in grossen Zügen festzulegen. Man kann sich nämlich leicht überzeugen, dass grosse Aenderungen in den beiden Hypothesen nur geringe Aenderungen des resultierenden Bildes verursachen. Die äussersten Grenzen, zwischen denen das Molekulargewicht des Geocoroniums jedenfalls liegen muss, sind dasjenige des Wasserstoffs und Null. Im letzteren Fall würden wir für das Geocoronium (in 200 km 50 % vorausgesetzt) in 100 km 24 % statt 29 %, in 300 km 75 % statt 71 % etc. erhalten — also eine für die vorliegenden Betrachtungen ganz unbedeutende Abweichung. Nehmen wir das andere Extrem an, so würden wir überall 50 % (oberhalb der unteren schweren Gase) erhalten. Welches also auch das Molekulargewicht des Geocoroniums sei, das Bild kann nicht wesentlich anders werden als das durch unsere Abb. 2 veranschaulichte. Wenn wir ferner die andere Hypothese variieren und z. B. annehmen, dass die Partialdrucke vom Wasserstoff und Geocoronium erst in 300 km Höhe einander gleich sind, so bedeutet dies im wesentlichen nur eine Parallelverschiebung der schrägen punktierten Linie in Abb. 2; es wird dann das Geocoronium in eine etwas grössere Höhe verlegt, der Uebergang behält aber dasselbe Aussehen. Sollte sich endlich die Basis der numerischen Rechnung, nämlich der Wasserstoffgehalt der Luft am Erdboden, als beträchtlich fehlerhaft herausstellen, so würde dies im wesentlichen nur eine (gleichfalls relativ sehr geringfügige)

Höhenänderung für den markanten Umschlag in der Zusammensetzung bei 70 km bedeuten, während das Verhältnis der beiden Gase darüber so gut wie ungeändert bleibt. Wir müssen also schliessen: wenn es überhaupt ein solches ausserordentlich leichtes Gas in der Atmosphäre gibt, welches sich über dem Wasserstoff zu lagern bestrebt ist, so muss sich der Uebergang zu ihm in einer der Abb. 2 jedenfalls sehr ähnlichen Weise vollziehen.

Die Langsamkeit dieses Ueberganges bringt auch Licht in manche Einzelheiten der Erscheinungen. Da wir jetzt garkeine reine Wasserstoffphäre mehr haben, so wird es sehr plausibel, dass die Wasserstofflinien niemals die hellsten im Polarlichtspektrum sind[1]). Und da das Geocoronium erst unterhalb 60 km Höhe verschwindet, so erklärt sich damit, dass selten oder nie ein Polarlicht beobachtet wird, welches die „Hauptlinie“ nicht zeigt.

*5) Das Zodiakallicht.*

Die Annahme liegt ausserordentlich nahe, dass auch diese letzte Schicht der Erdatmosphäre, das Geocoronium, noch einen Dämmerungsbogen verursacht, und dass dieser Dämmerungsbogen mit dem Zodiakallicht identisch ist. Die charakteristische Pyramidenform, in welcher das Zodiakallicht erscheint, würde die Annahme nötig machen, dass die Massenverteilung in der Sphäre des Geocoroniums bereits Unregelmässigkeiten unterliegt; doch gerade dies führt zu einer neuen Analogie mit der Sonnenatmosphäre, da ja auch die Sonnencorona eine sehr eigenartige, noch unerklärte Massenverteilung zeigt. Durch diese Auffassung des Zodiakallichtes würden sich auch die Ergebnisse seiner spektroskopischen Untersuchung erklären lassen. Im wesentlichen gibt dasselbe bekanntlich ein continuierliches Spektrum und stellt

1) Vielleicht deutet dieser Umstand sogar darauf hin, dass dem Geocoronium ein noch etwas grösserer Platz auf Kosten des Wasserstoffs einzuräumen ist, als oben angegeben.

somit diffus reflektiertes Sonnenlicht dar, ebenso wie die übrigen Dämmerungsbögen. Indessen haben Respighi, Vogel und Wright im Spektrum des Zodiakallichtes die grüne Nordlichtlinie gesehen, was sich ohne weiteres erklärt, wenn dasselbe mit der Sphäre des Geocoroniums identisch ist.

Da sich eine äussere Grenze der Geocoroniumsphäre nicht angeben lässt, so hätte man sich — die Identität mit dem Sonnen-Coronium vorausgesetzt — den ganzen Weltraum im Planetensystem mit diesem Gase in ausserordentlicher Verdünnung erfüllt zu denken und müsste erwarten, dass zwischen den Partialdrucken dieses Gases auf der Erde und auf der Sonne ein der Gravitation entsprechendes Gleichgewicht herrscht. Man könnte die Betrachtung auch auf die übrigen Planeten ausdehnen und deren Coroniumdruck berechnen. Bei der früher ungeahnten konstitutionellen Verwandschaft der Erd- und Sonnenatmosphäre liegt es ferner sehr nahe, diese Betrachtung auf die Gesamtatmosphären auszudehnen, so dass man zu dem Satz käme: Die Atmosphären der Himmelskörper in unserem Sonnensystem sind untereinander nach den Gasgesetzen im Gleichgewicht. Natürlich kann dieser Satz nur für diejenigen Gase gelten, welche weder verbraucht noch erzeugt werden. Da diese Bedingung streng wohl nirgends zutrifft, so wird man das genannte Gesetz auch nur näherungsweise erfüllt zu sehen erwarten. Eine weitere Verfolgung dieses Gegenstandes möchte ich mir vorbehalten.

---

In der Wahlsitzung vom 10. Mai 1911 fand zunächst die vorschriftsmässige Neuwahl des Vorstandes statt. Herr Prof. Korschelt wurde zum Vorsitzenden, Herr Prof. Richarz zum stellvertretenden Vorsitzenden gewählt. Weiter kamen in den Vorstand Herr Prof. Schenck und Herr Prof. Neumann.

Als neue Mitglieder der Gesellschaft wurden Herr Geheimrat Prof. Dr. Krümmel zum ordentlichen und Herr Prof. Dr. Thiel zum ausserordentlichen Mitglied gewählt.

---

## Aufgelegte Schriften:

Sitzungsber. Bayr. Akad. Math.-Phys. Kl. 1909. Abhdlg. 15 bis 19. Schlussheft. München 1910. Abhdlg. 1 bis 4. Abhdlgn. Bd. XXV, 1 bis 3.
Sitzungsber. nat. Ges. Isis. 1909 Juli bis Dez. Dresden 1910.
Zeitschr. wiss. Insecten-Biologie. Bd. VI, Heft 4 Berlin 1910.
Verhdlgn. Nat.-Med.Verein Heidelberg. Bd. X, Heft 3. Heidelberg 1910.
Leopoldina. Heft XLVI, Nr. 5. Halle 1910.
Lese- und Redehalle d. deutsch. Stud. i. Prag. 61. Bericht. Prag 1910.
Senckenb. Ges. Festschrift für W. Kobelt. Frankfurt 1910.
„ „ 41. Bericht, Heft 1 und 2. „ 1910.
Acta Soc. Scient. Fennica. Bd. XXXIX u. XL, 1 bis 3. Helsingfors 1910.
Tromsö Museum. Jahresheft 30, 1907. Tromsö 1909 bis 10.
„ „ Jahresbericht für 1908. Tromsö 1910.
Manchester Litt. and. Philos. Soc. Memoirs 1909 bis 1910. Vol. 54, Part. II. Manchester 1910.
Atti d. Reale Acc. dei Lincei. 1910 vol. XIX, fasc. 8. Rom 1910.
Acad. Imp. St. Petersburg. Bulletin 1910, Heft 8 bis 9. Petersbg. 1910.
New York State Museum Report. 62, 1 bis 4. 1908. New York 1909
Smithsonian Miscell. Coll. Vol. 54, 4 Hefte. Washington 1910.
Smithsonian Instit. Jahresbericht bis 30. Juni 1909. Washington 1909
U. S. Dep. Agric. Yearbook 1909. Washington 1910.
American Naturalist. Vol. XLIV, Nr. 521. New York 1910.
Boston Soc. of Nat. Hist. Vol. 34, 5 bis 8 Boston 1909 bis 1910.
„ „ „ „ „ Occasional Pap. VII. Boston 1909.
American Philos. Soc. Proceed. Vol XLVIII, Nr. 193. Philadelphia 1909.
„ „ „ List.
Field Mus. of Nat. Hist. Chicago. Report Series Vol. 3, Nr. 4 (140). Chicago 1910.
Harvard College. Bull. of Mus. of Compar-Zool. Vol. VII, Nr. 15. Cambridge 1910.
Academy of Nat. Scienc. Philadelphia. Vol LXI, Part. 3. 1909. Philadelphia 1909.
New York Public Library. Bull. 1910. Vol. XIV, Nr. 4. New York 1910.
United States Geol. Surv. Bull. 360. Washington 1909.
Journal. Royal. Soc. New South. Wales. Vol. XLIII, Part I u. II für 1909. Sydney 1909. Vol. XLII für 1908. Sydney 1908.
Tokyo Zool. Soc. Annotationes. Vol. VII, Part. III. Tokyo 1910.
Museo Nacional de Buenos Aires. Anales Ser. III, Tom XII. Buenos Aires 1909.
Bayrische Akad. d. Wissensch. Abh. d. Math. Phys. Klasse. Bd. XIX bis XXIV, 2. Abt. München 1896 bis 1909. 1. Supplementband, 1. bis 6. Abhdlg. 1908. 2. Supplementband, 1. Abhdlg. 1909.

Bayrische Akad. d. Wissenschaft. Sitzungsberichte 1896 bis 1908. I., II. Inhaltsverzeichnis d. Sitzgsber. 1886 bis 1899.
Sitzungsberichte 1909. 1. bis 14. Abhdlg.
Leopoldina. Heft 46, Nr. 3 u. 4. Halle 1910.
Naturw. Verein Bremen. XX, 1. Bremen 1910.
„ „ Schleswig-Holstein. XIV, Heft 2. Kiel 1909.
Verhdlg. Naturw. Ver. Karlsruhe. Bd XXII Karlsruhe 1910.
Verein f. Naturkunde Mannheim. 73. bis 75. Jahresber. Mannheim 1906 bis 1908.
Bericht der Ges. Isis zu Bautzen für 1906 bis 1909.
Verhdlg. Botan. Verein Brandenburg. 51. Jahrg. 1909.
„ Berl. Mediz. Ges. Bd. 40. 1909. Berlin 1910.
„ Ornithol. Ges Bayern. Bd. 9. München 1909.
Zeitschr. wissensch. Insektenbiologie. Bd. 6, Heft 3. Berlin 1910.
Naturf. Ges. Freiburg i. Br. Berichte. Bd. 18, Heft 1. Freiburg 1910.
III. Intern. Congress Botanik. Phytogeogr. Nomenklatur. Berichte und Vorschläge. Zürich 1910.
Geol. Reichs-Anst. Wien. Verhdlgn. 1909. Heft 15 bis 18. Wien 1909. Verhdlgn. 1910. Heft 1. Wien 1910.
Verein f. Naturk. Osterreich ob der Enns. 38. Jahresber. Linz 1909.
Museum Franzisco Carolinum. 68. Jahresber. Linz 1910
Lotos Nat. med. Ver. f. Böhmen. Bd. 57, Heft 1 bis 10. Prag 1909.
Zeitschrift für wissenschaftliche Insektenbiologie. Band VI, Heft 6 bis 10. Berlin, Schönebg. 1910.
Verein für Naturwissenschaft zu Braunschweig. 16. Jahresbericht für 1907/08 und 1908/09. Braunschweig 1910.
Hzgl. techn. Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Programm f. d. Studienjahr 1910/11. Braunschweig 1910.
Naturhistorische Gesellschaft zu Hannover. 58. und 59. Jahresber. f. 1907/08 und 1908/09. Hannover 1910.
Bericht d. Wetterauischen Gesellschaft zu Hanau über den Zeitraum vom 1. Okt. 1903 bis 30. Sept. 1909. Hanau 1910.
Jahresbericht des ärztl. Vereins zu Frankfurt a. M. für 1908. München 1910.
Mitteilungen d. sächs. thüring. Vereins für Erdkunde zu Halle a. S. 34. Jahrgang 1910. Halle a. S. 1910.
87. Jahresbericht d. schlesisch. Gesellschaft f. vaterländische Cultur. Breslau 1910.
Abhandlungen u. Berichte des Museums für Naturkunde u. des naturwissensch. Vereins z. Magdeburg. Magdeburg 1909.
Jahreshefte d. Vereins f. vaterländ. Naturkunde zu Württemberg. 66. Jahrgang. Stuttgart 1910.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 2 Juni 1911


In der ausserordentlichen Sitzung vom 28. Juni hielt Herr Dr. C. Tönniges den Vortrag:

### Die Trichocysten von Frontonia leucas und ihr chromidialer Ursprung.

Trichocysten sind kleine stäbchenförmige Körperchen, die senkrecht zur Oberfläche in dem Corticalplasma des Ciliatenkörpers liegen und auf Reize (am besten mit Säuren) einen langen haarfeinen Faden herausschnellen. Auf Grund dieser Erscheinung haben manche Forscher sie mit den Nesselkapseln der Coelenteraten verglichen und zwar mit Recht, wie ich in den nachfolgenden Betrachtungen zeigen werde. Die Trichocysten sind die „Nesselkapseln" der Ciliaten, sowohl hinsichtlich ihrer Entstehung, wie ihres Baues und ihrer Funktion.

Nesselkapseln, die sich nur ganz unwesentlich hinsichtlich ihres Baues von denen der Coelenteraten unterscheiden, sind von einigen Ciliaten beschrieben worden. So kommen bei dem peritrichen Ciliat *Epistylis umbellaria* nach den Untersuchungen von *Greeff* und anderen Forschern typische Nesselkapseln als Trichocysten vor.

Ebenfalls sind bei dem marinen Ciliaten *Strombidium sulcatum* von *Géza Entz* nesselkapselähnliche Trichocysten, bei denen es zweifellos zur Ausschnellung eines Fadens kommt, nachgewiesen worden.

Das gleiche Verhalten zeigen nach meinen Untersuchungen die Trichocysten der meisten übrigen Ciliaten. Auch sie bringen, im Gegensatz zu der Ansicht der neueren Autoren, die sich mit der Funktion der Trichocysten beschäftigt haben, einen Faden zur Ausschnellung.

## I. Lage und Bau der Trichocysten.

Der Körper von *Frontonia leucas* ist von einer Pellicula umgeben. Weiterhin lässt sich bereits am lebenden Objekt eine Differenzierung in ein äusseres grobvakuolisiertes oder grosswabiges Ektoplasma und in ein inneres dichteres Endoplasma unterscheiden.

Am Ektoplasma kann man ausser der bereits erwähnten Pellicula noch zwei Schichten, die Alveolarschicht und das Corticalplasma, erkennen.

Die Alveolarschicht ist nur auf Schnitten genauer sichtbar zu machen, da sie sehr zart ist und aus einer Reihe senkrecht gestellter Waben besteht. Sie wird von den Wimpern durchsetzt und in ihr liegen die Wurzeln der Wimpern, die Basalkörperchen.

Die Alveolarschicht erscheint bei *Frontonia leucas* senkrecht zur Oberfläche fein gestrichelt. Diese Strichelung entsteht durch die Zwischenwände kleiner Waben, die in einfacher Lage unter der Pellicula angeordnet sind. Das Corticalplasma ist infolge der in ihm liegenden Trichocysten und einer grossen Anzahl von kleinen Körnchen stark in die Augen fallend. Es unterscheidet sich vom Endoplasma durch ein kompakteres Aussehen, was zum Teil auf dem Mangel an grösseren Vakuolen beruht, zum grösseren Teil auf eine grosse Menge der erwähnten Inhaltskörper zurückzuführen ist. Es erhält durch diese Einlagerung von zahlreichen, stark tingierbaren Körnchen ein dunkleres Aussehen. Sie erscheinen im Leben völlig homogen, färben sich aber mit Eisenhämatoxylin tief schwarz. Auf gut differenzierten

Schnitten ist an diesen Körperchen eine wabige Struktur zu bemerken.

Die Grundstruktur des Corticalplasmas besitzt einen sehr feinwabigen, alveolären Bau, der an den Stellen, wo die Trichocysten fehlen, d. h. ausgeschnellt sind, mit stärkeren Systemen sehr gut sichtbar zu machen ist.

*Frontonia* hat verhältnismässig grosse Trichocysten. Das Tier selbst ist für ein Protozoon schon von beträchtlicher Grösse (200—300 $\mu$), aber seine ausgeschnellten Trichocysten besitzen eine Länge von durchschnittlich 50—60 $\mu$, während die eingestülpten ungefähr 6 $\mu$ lang sind. Ihre Grösse schwankt nicht nur unter den einzelnen Individuen, sondern auch innerhalb eines Tieres sind sie durchaus nicht alle von gleicher Länge. Es finden sich grössere und kleinere Formen, wenn auch im allgemeinen eine gewisse Normalgrösse eingehalten wird. Zahlreiche Messungen führten zu dem Resultat, dass im allgemeinen die ausgeschnellten Trichocysten die sechs- bis achtfache Länge der in Ruhe befindlichen besitzen. Es kommen aber auch oftmals solche von zehnfacher Länge vor, so dass bei einer Grösse von 6 $\mu$ in nicht explodiertem Zustande, die ausgeschnellten 60 $\mu$ in der Länge messen.

Die ganze Oberfläche der *Frontonia* ist von einem dichten Trichocystenkleid bedeckt.

Die Trichocyste erscheint bei schwächerer Vergrösserung deutlich spindelförmig und an beiden Enden fein zugespitzt. Bei Anwendung stärkerer Systeme setzt sie sich aus drei deutlich gesonderten Teilen, dem haarförmigen Fortsatz, dem Kopf und dem Körper zusammen.

Der haarförmige Fortsatz ist der kleinste und zarteste Teil der Trichocyste. Er ist, wenn auch schwierig, am lebenden Objekt als stark lichtbrechendes Stiftchen zu sehen. Auf den Schnittpräparaten kann er mit Hilfe geeigneter Färbungsmethoden leicht sichtbar gemacht werden. Er ist fester mit dem Kopfe verbunden als dieser mit dem Körper, wie wir später sehen werden. Die Fortsätze durchsetzen die

Alveolarschicht, indem sie sich zwischen zwei benachbarte Waben einschieben, so dass es den Anschein erwecken könnte, als bildeten sie diese Wand. Wenn dem so wäre, würde eine Alveolarschicht vorgetäuscht und nicht vorhanden sein.

Obwohl bei allen genaueren Untersuchungen protoplasmatischer Strukturen der Ciliaten eine Alveolarschicht aufgefunden worden war, wurde sie in neuerer Zeit von *Herm. Nicolaus Maier* in seiner schönen Arbeit über den feineren Bau der Wimperapparate der Infusorien bei mehreren untersuchten Formen in Abrede gestellt. Unter ihnen befanden sich speciell solche Formen, die im Besitz von Trichocysten waren, wodurch die Erkennung der zarten Alveolarschicht ausserordentlich erschwert wird. *Maier* hat im Gegensatz zu *Bütschli* bei *Paramaecium* eine Alveolarschicht nicht feststellen können. Trotzdem ist sie vorhanden, so dass die Ansicht *Bütschli*'s beibehalten werden muss. Ich habe die Schicht auf meinen Präparaten an geeigneten Schnitten jedesmal aufzufinden vermocht.

*Maier* vermutete, dass die haarförmigen Fortsätze der Trichocysten für *Bütschli* die Veranlassung gewesen seien, eine Alveolarschicht bei *Paramaecium* anzunehmen. Dazu ist aber *Bütschli* ein zu genauer Beobachter, als dass er sich in dieser Weise geirrt haben sollte.

Sehen wir uns bei *Paramaecium* und bei *Frontonia*, die beide Trichocysten besitzen, die Alveolarschicht an, so muss zugegeben werden, dass sie auf den Schnitten im ersten Augenblick nicht zu sehen ist. Das Bild ist ungefähr ein ähnliches, wie es *Maier* in seinen Figuren wiedergibt.

Sehen wir davon ab, dass die Figuren *Maier*'s, was die Wiedergabe der feineren Strukturen des Plasmas anbetrifft, durchweg etwas schematisch gehalten sind, so ist in seinen Figuren von *Paramaecium* tatsächlich keine Alveolarschicht zu sehen. Dort, wo sie eigentlich vorhanden sein sollte, liegen die haarförmigen Fortsätze der Trichocysten und die Cilienendstücke, die nach Durchsetzung der Pellicula in das darunter-

leigende Ektoplasma eintreten, um sich mit den Basalkörperchen zu verbinden. Beide Gebilde jedoch, die haarförmigen Fortsätze der Trichocysten und die Endstücke der Cilien, die abwechselnd nebeneinander liegen, durchsetzen die Alveolarschicht in den Alveolarkanten. Die senkrecht gestellten Wabenwände, die äusserst zart sind, legen sich dicht den haarförmigen Fortsätzen der Trichocysten und den Endstücken der Cilien an, so dass sie mit ihnen eine einzige Wand zu bilden scheinen. Bei der Explosion drücken die haarförmigen Fortsätze der Trichocysten die Wabenwände beiseite und schnellen nach aussen, ohne dass sie die Pellicula und die Alveolarschicht durchbohren müssten. Nach meiner Auffassung ist dieses die Aufgabe der haarförmigen Fortsätze der Trichocysten. Einige Forscher haben sie mit dem Cnidocil der Nesselkapseln verglichen, was mir jedoch nicht angängig erscheint.

Nachdem wir die Lage und die mutmassliche Bedeutung des haarförmigen Fortsatzes kennen gelernt haben, gehen wir zur Beschreibung des Kopfes und des Körpers der Trichocyste über.

Der Kopf besitzt eine birnförmige Gestalt, ist aber insofern etwas asymmetrisch gebaut, als seine eine Seite eine leichte Einbuchtung aufweist. Mit dem Körper ist der Kopf nur leicht verbunden, so dass er oftmals auf Schnitten von ihm isoliert liegt. Querschnitte, die durch ihn hindurchgeführt werden, zeigen aufs deutlichste, dass er, wie der Körper, aus einer inneren homogenen Masse besteht, die von einer dünnen Membran mantelartig umschlossen ist. Wie aus der Entstehung der Trichocyste hervorgeht, setzt sich dieser innere Teil aus umgewandeltem Chromatin zusammen, während der Mantel aus dem kontraktilen Plastin gebildet wird. Kleine Verdickungen, die regelmässig verteilt an der Innenwand des Mantels liegen, machen es noch wahrscheinlicher, dass der Prozess der Explosion der Trichocyste auf der Tätigkeit dieser plastinen Mantelsubstanz beruht.

Untersucht man die scheinbar homogene Innenmasse bei günstiger Färbung mit stärkeren Systemen, so kann man auch an ihr eine gewisse Differenzierung wahrnehmen. Zweifellos zeigt der Kopf der Trichocyste eine komplizierte Struktur, die nur wegen der Kleinheit des Objektes schwer festzustellen ist. Warum die Trichocyste von *Frontonia* diese Sonderung in einen Kopf besitzt, ist schwierig zu erklären. Möglicherweise steht dieses Verhalten mit dem Vorgang der Explosion im Zusammenhang, da zuerst der Kopf die Ausschnellung zeigt und, getrennt von ihm, der Körper sich in das Innere des Frontonialeibes ausdehnt. Durch diese Teilung in Kopf und Körper kann zweifellos jeder Teil eine grössere Kraft bei der Ausschnellung entfalten.

Der Körper ist der bei weitem grösste Teil der Trichocyste. Er ist mindestens dreimal so lang als der Kopf; mitunter habe ich auch solche von vierfacher Länge angetroffen. Im histologischen Aufbau sind kaum wesentliche Unterschiede von dem des Kopfes zu erkennen. Es schien mir mehrfach nur die kontraktile Mantelsubstanz nicht so kräftig zu sein. Das kann aber auch auf einer Täuschung meinerseits beruhen.

Die Trichocyste wird in eingestülptem Zustande und in der Ruhelage von einem dichten Mantel kleiner Körnchen umgeben, die das ganze Corticalplasma von *Frontonia* ausfüllen, aber besonders dicht die Trichocysten umgeben. Ich bin der Ansicht, dass diese Körnchen eine grosse Rolle beim Explodieren der Trichocysten spielen, indem durch sie auf mechanischem Wege ein Druck ausgeübt wird, der den ersten Anstoss zur Ausschnellung der Trichocyste gibt.

## II. Die Entstehung der Trichocyten.

Bisher besassen wir keinerlei genauere Beobachtungen über die Herkunft der Trichocysten. Es bestand die allgemeine Annahme, dass sie im Plasma ihre Entstehung fänden. Die Mehrzahl der Forscher war der Ansicht, dass sie an denjenigen Stellen gebildet würden, wo ihre definitive Lage

im ausgebildeten Zustande ist, nämlich im Ektoplasma oder genauer im Corticalplasma, wenn eine derartige Schicht nachgewiesen war. Einige Beobachter haben auch die Vermutung ausgesprochen, dass sie im Endoplasma entstehen könnten.

Nach meinen Beobachtungen entstehen die Trichocysten im Kern, speziell im Macronucleus, aus dem sie in Form von Chromidien auswandern. Diese Chromidien, die ich Trichochromidien nennen möchte, sind echte Kerne, da sie alle wichtigen Bestandteile eines solchen enthalten. Chromatin, Plastin und ein achromatisches Netzwerk sind während ihrer Entwicklung in ihnen nachweisbar.

Der Macronucleus von *Frontonia* lässt in seinem Innern neben dem feinwabigen achromatischen Netzwerk, dem zahlreiche Chromatinpartikelchen eingelagert sind, eine grosse Menge kleinerer und grösserer Nukleolen erkennen, die rings je von einer Vakuole umgeben sind und dadurch im Kern scharf hervortreten. Betrachtet man diese Vakuolen mit dem darin liegenden Nukleolus jedoch bei stärkerer Vergrösserung, so sieht man ausserdem zahlreiche feine achromatische Fasern, in denen der Nukleolus wie in einem Netz aufgehängt erscheint. Diese Fasern gehen direkt in das achromatische Netzwerk des Kernes über.

Bei weiteren Untersuchungen bemerkt man an den Nukleolen eine Zusammensetzung aus zwei verschiedenen Substanzen, von denen sich die eine stark färbt, während die andere, homogenere, nur schwach die Farbe annimmt. Die Entstehung dieser Nukleolen, der zukünftigen Trichochromidien, hat nun gezeigt, dass ihre eine Hälfte aus Chromatin, die andere aus Plastin besteht. Die kleinen Chromatinpartikelchen (Chromiolen im Sinne *Eisens* und *Heidenhains*) rücken auf dem Kerngerüst zu grösseren Partien zusammen, bis eine verhältnismässig starke Chromatinkugel gebildet ist. Gleichzeitig lagert sich dieser Chromatinkugel ein homogener Plastinkörper von ungefähr gleicher Grösse an, so dass der fertige Nukleolus oder das Trichochromidium aus zwei

der wichstigsten Kernelemente, dem Chromatin und Plastin, besteht.

Nach einer lebhaften Durchdringung beider Massen, die in der amoeboiden Beweglichkeit des Plastins ihre Ursache zu haben scheint, verdichtet sich das Chromatin zu einem stabförmigen Körper, der die Grundlage der zukünftigen Trichocyste bildet. Auf diesem Stadium, aber häufig noch frühzeitiger, verlassen die Trichochromidien den Kern. Die im allgemeinen ziemlich feste Kernmembran zeigt an gewissen Stellen eine völlige Auflösung, an der die Trichochromidien massenhaft den Macronucleus verlassen und in das Plasma einwandern. Hier wachsen sie zur völligen Grösse heran. Das bis dahin bläschenförmige Trichochromidium streckt sich in die Länge, da der spindelförmige Chromatinkörper in seinem Innern sich fortgesetzt vergrössert, und in seinem Plastin entsteht ein Wabenwerk, dessen grössere Waben die chromatische Achse wie einen Mantel umgeben und scheinbar deren Wachstum veranlassen. Der anfänglich grosse Plastinmantel verliert im Verhältnis zum wachsenden Chromatin sein Volumen und legt sich als dünner, kontraktiler Mantel der chromatischen Achse dicht an.

Damit ist die gröbere Form der Trichocyste gegeben. Im weiteren Verlauf der Ausbildung kommt eine allmähliche Sonderung in einen haarförmigen Fortsatz, in einen Kopf und Körper zustande.

Die jungen, nahezu ausgebildeten Trichocysten wandern an die Peripherie, indem sie sich auf den Protoplasmasträngen entlang schieben, bis sie ihre definitive Lagerung erreicht haben.

Als das wichtigste Resultat dieser Untersuchung über die Herkunft der Trichocysten muss ihre Entstehung aus umgewandelten, für einen bestimmten Zweck angepassten Kernen angesehen werden. Wenn wir bedenken, wie zahlreich die Trichocysten bei den meisten Ciliaten sind, so muss uns diese enorme Aufgabe des Macro-

nucleus zum Nachdenken anregen. Höchstwahrscheinlich entstehen die zahlreichen Basalkörperchen der Ciliatencilien auf ganz ähnliche Weise.

Wie ich auf Grund meiner Untersuchungen annehmen muss, ist die wichtigere Substanz der Trichocyste das Plastin oder das Achromatin, die ich beide für identisch halte. Das Chromatin scheint ein Stoffwechselprodukt dieser Substanz zu sein. Das Plastin gleicht in vielen Beziehungen dem Protoplasma und scheint wie dieses auch Kontraktilität zu besitzen.

Das im Plastin lagernde Chromatin setzt sich, so lange es noch im Macronucleus verteilt liegt, aus kleinen Kügelchen zusammen, die man mit *Boveri* und *Eisen* als Chromiolen bezeichnen könnte. Nach der Auffassung der letztgenannten Autoren sollen diese Chromiolen ein selbständiges Teilungsvermögen besitzen. Tatsächlich sieht es so aus, wahrscheinlich ist es jedoch, dass diese Teilungsfähigkeit dem Plastin zukommt, in das die Chromiolen eingelagert sind, so dass sie sich notgedrungen gleichfalls teilen müssen, wenn das Plastin sich teilt.

Die grosse Bedeutung, die dem Plastin im Haushalt der Zelle zukommt, scheint in den neueren cytologischen Arbeiten mehr und mehr gewürdigt zu werden. Das Plastin muss als die nicht färbbare Grundsubstanz des Kernes und auch des Plasmas angesehen werden. Beide scheinen gleich zu sein' da sie ineinander übergehen und auseinander hervorgehen können. Es macht sich in unserer Zeit das Bestreben bemerkbar, die färberisch so verschiedenen Kernstrukturen aus einer einheitlichen Grundsubstanz abzuleiten. Chromatin Achromatin oder Linin und Plastin würden bei dieser Annahme auf einander zurückführbar sein. Das Chromatin fällt durch seine starke Färbbarkeit sofort auf, und man hat es lange Zeit und auch heute noch, als die wichtigste Substanz des Kernes bezeichnet. Dieses scheint aber nicht der Fall zu sein, da es sich immer an den Stellen in grossen

Massen bildet, wo ein reger Stoffwechsel der Zelle stattfindet. Es liegt, wie ich schon mehrfach betont habe, nicht frei, sondern in einer schwachfärbaren Grundsubstanz, dem Plastin, dem eine grössere Rolle im Leben der Zelle zuzukommen scheint als dem Chromatin. Plastin vermag chromatische Substanz zu bilden, aber es entsteht, soweit die Beobachtungen reichen, niemals umgekehrt Plastin aus Chromatin. Nun bildet sich aber das Plastin, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, aus dem Achromatin oder Linin des Kernes. Dieses stimmt in seinem Verhalten auffällig mit dem Protoplasma überein und scheint, wie gesagt, gleichfalls Kontraktilität zu besitzen.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass wir in der Lininsubstanz oder im Achromatin des Kernes und des Protoplasmas den unmittelbaren Träger aller Lebenserscheinungen vor uns haben. Die besondere Form der Chromosomen und ihre Bewegungserscheinungen scheinen durch diese Grundsubstanz verursacht zu werden. Wird durch weitere Untersuchungen bestätigt, dass Plastin und Chromatin nicht als zwei verschiedene Substanzen, sondern als blosse Zustandsphasen derselben Grundstruktur, nämlich des Achromatins, aufzufassen sind, dann vereinfacht sich der scheinbar so überaus komplizierte Bau des Kernes und Protoplasmas ausserordentlich.

In beiden Fällen würden wir die gleiche achromatische Grundstruktur antreffen, und wir würden uns demnach wieder zu dem alten Satz bekennen müssen, den neuerdings *R. Hertwig* mit Nachdruck in seinen Publikationen hervorgehoben hat, dass das Protoplasma der Träger der Lebensfunktionen ist.

## III. Der Vorgang der Ausschnellung und die Funktion der Trichocysten.

Eingangs wurde erwähnt, dass wir einige Infusorien kennen, die nesselkapselähnliche Trichocysten mit ausstülp-

barem Faden besitzen. Ferner sind sogar echte Nesselkapseln mit aufgerollten Fäden bei *Epistylis umbellaria* festgestellt. Es kann uns also nicht in Erstaunen versetzen, wenn auch die Trichocysten der übrigen Ciliaten auf ähnliche oder dieselbe Weise explodieren, indem sie einen Faden aus ihrem Innern zur Ausstülpung bringen. Nur geht dieser Vorgang so ausserordentlich schnell vorüber und ist zu gleicher Zeit mit einer starken Längsstreckung der elastischen Trichocyste verbunden, dass er schwierig zu beobachten ist, woraus sich die verschiedenen Ansichten erklären lassen, die über den Vorgang der Explosion bekannt geworden sind. Tatsächlich geschieht dieser Prozess mit so grosser Schnelligkeit, wenn er nicht künstlich durch Uebergiessen mit heissen Fixierungsflüssigkeiten aufgehalten wird, dass man leicht zu der Ansicht *Verworn*'s etc. kommen konnte, die Trichocysten seien erstarrte Fäden einer ausgepressten Flüssigkeit.

Diese Auffassung, die neuerdings noch mehrfach ihre Vertreter gefunden hat, lässt sich schon auf Grund der komplizierten Struktur der Trichocysten nicht mehr aufrechterhalten.

Man hat es jedoch mit Hilfe der obengenannten Methode in der Hand, den Vorgang des Ausschnellens beliebig verlangsamen zu können, so dass man ihn schrittweise verfolgen kann.

Es lässt sich nun bei *Frontonia leucas* mit aller Deutlichkeit feststellen, dass ein Faden wie bei einer Nesselkapsel aus der Trichocyste ausgestülpt wird. Ob dieser Faden, der auf Querschnitten hohl erscheint, wie bei den Nesselkapseln der Cnidarier aufgerollt ist, konnte nicht festgestellt werden, scheint aber auf Grund sorgfältiger Beobachtungen nicht wahrscheinlich zu sein. Auffällig könnte nur die enorme Länge des ausgeschnellten Fadens im Verhältnis zur Grösse der Kapsel erscheinen, jedoch ist es ungefähr dasselbe Verhältnis wie bei den echten Nesselkapseln. Ausserdem muss man mit der nachfolgenden Längsstreckung der

ganzen Trichocyste rechnen, die sich aus einem spindelförmigen Gebilde in ein schmales stäbchenförmiges Organ verwandelt.

Ich erwähnte schon, dass sich die Ausstülpung des Fadens durch Uebergiessen mit heissen Fixierungsflüssigkeiten beliebig unterbrechen lässt, so dass man alle Stadien der Ausschnellung zu Gesicht bekommen kann. Bei den auf diese Weise behandelten Objekten entsteht bei Beginn der Ausstülpung ein kleiner durchsichtiger Faden auf dem Kopf der Trichocyste und dieser Faden, der aus dem Inneren der Trichocyste kommen muss, da diese unverändert ihre Gestalt und Grösse beibehält, verlängert sich mehr und mehr, bis er weit über den Rand der Pellicula hinausragt. Die Trichocyste selbst bleibt während dieses ganzen Vorgangs unverändert in ihrer alten Lage im Corticalplasma.

Dass dieser Faden nicht aus einer erstarrten, ausgepressten Flüssigkeit bestehen kann, beweist erstens der hohle Querschnitt desselben, zweitens seine gleichmässige Dicke in Verbindung mit der entsprechenden glatten Beschaffenheit seiner Wand und schliesslich die Tatsache, dass er bei einer Maceration in zahlreiche Fibrillen zerfällt. Es ist demnach ganz unmöglich, dass dieser ausgeschnellte Faden eine erstarrte Flüssigkeit ist.

Hat der Faden sich zu seiner vollen Länge ausgestülpt, beginnt plötzlich ein Vorgang an der Trichocystenkapsel, der ein gewisses Licht auf ihre Kontraktilität zu werfen vermag. Der Kopf sowohl wie auch der Körper zeigen plötzlich eine starke Längsstreckung, die so kräftig ist, dass nicht nur die ganze Trichocyste stäbchenförmig wird und mit dem ausgestülpten Faden eine stabförmige, gleichmässige Masse bildet, sondern bei ihrem Druck in das Innere des Plasmas hinein eine kräftige Schlängelung erfährt.

Im normalen Zustande fliegt natürlich die Trichocyste durch diese ruckartige Streckung ihres Körpers aus dem Tier hinaus, was in unserm Falle nur schwer möglich ist,

da das Tier durch die Behandlung mit heissen Lösungen plötzlich abgetötet wird, ehe es Zeit hat, sich seiner Trichocysten völlig zu entledigen.

Während der Ausstülpung des Fadens machen sich im Innern desselben kleine Kügelchen bemerkbar, die ich für die erstarrte Flüssigkeit halte, die durch die Trichocysten ausgestossen werden sollte.

Auf Grund der angeführten Beobachtungen kann es wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass die Trichocysten wie Nesselkapseln einen Faden ausstülpen, um sich dann intensiv in die Länge zu strecken, so dass ein stäbchenförmiges Gebilde resultiert, an dem weder ein Kopf noch ein Körper nachweisbar ist. In den meisten Fällen ist auch das haarförmige Spitzenstück restlos in der ausgeschnellten, stabförmigen Trichocyste aufgegangen. Häufig bemerkt man aber an seiner Stelle einen kleinen beutelförmigen Anhang, oder einen zarten umgeknickten Faden. Es kann dieser kleine zarte Anhang an der Spitze der ausgeschnellten Trichocyste auch eine spiralige Einrollung zeigen oder er kann hakenförmig umgebogen sein. Weiterhin ist eine kegel- oder pfeilspitzenförmige Gestalt desselben nicht selten.

Wie man sieht, sind die Formen dieses Anhangs sehr verschieden, was ich auf seine zarte Beschaffenheit zurückführen möchte. Wie mir scheint, ist er der umgewandelte haarförmige Fortsatz, der an der in Ruhe befindlichen, unausgeschnellten Trichocyste von mir eingangs genauer beschrieben wurde. Er muss, wie gesagt, äusserst zart sein, sonst könnte er unmöglich solche verschiedenen Formen annehmen. Hervorheben möchte ich nochmals, dass er an einer völlig ausgeschnellten Trichocyste nicht mehr zu sehen ist, da er in direkter Verlängerung unmerklich in den übrigen Körper übergeht. Er scheint eine klebrige Beschaffenheit zu besitzen, so dass er sofort umknickt, wenn die Trichocyste noch nachträglich auf dem Objektträger bewegt wird. Haarförmiger Fortsatz und Kopf werden von

den Autoren vielfach verwechselt. Ich werde darauf, sowie auf die einschlägige Literatur, in meiner ausführlichen Arbeit näher eingehen. Was nun zum Schluss die Funktion der Trichocysten anbetrifft, so sehe ich in ihnen, in Uebereinstimmung mit den Ansichten der meisten übrigen Autoren, Verteidigungswaffen der Tiere. Man hat in ihnen auch Angriffswaffen vermutet, doch keine der zahlreichen Beobachtungen meinerseits unterstützen bei *Frontonia leucas* diese Auffassung. Dass sie zur Verteidigung gebraucht werden, habe ich oftmals beobachten können.

Bei einer Anzahl von Ciliaten sind trichocystenähnliche Gebilde beschrieben worden, die auf Grund mehrfacher Beobachtungen zweifellos zum Angriff verwendet werden. Man hat sie zum Unterschied von den Verteidigungstrichocysten Trichiten genannt. Sie kommen bei *Frontonia leucas* nicht vor, sind aber z. B. bei *Trachelophyllum apiculatum*, *Spathidium spathula*, *Pseudoprorodon niveus*, *Enchelyodon farctus*, *Lacrimaria olor* und vielen anderen Ciliaten beschrieben worden. Häufig sind diese Trichiten mit dem Reusenapparat mancher Ciliaten verwechselt worden.

Zweifellos sind grosse Uebereinstimmungen zwischen Nesselkapseln und Trichocysten vorhanden. Nicht nur kommen typische Nesselkapseln bei Protozoen vor, sondern auch die Trichocysten zeigen, wie ich nachgewiesen zu haben glaube, grosse Aehnlichkeit in ihrer Struktur, Entstehung und Wirkungsweise mit den Nesselkapseln.

In der ausserordentlichen Sitzung vom 28. Juni sprach Herr W. Harms:

## Ueber den Einfluss des kastrierten auf den normalen Komponenten bei Parabiose von Rana.

(Aus dem Zoologischen Institut der Universität Marburg.)

Bekanntlich gibt es im Körper der Tiere eine Reihe von Drüsen deren Funktion insofern eine absonderliche ist, als keine Ausführungsgänge mehr zum Ableiten des Sekrets vorhanden sind. Ich nenne nur als Beispiel die Thyreoidea, die Nebenniere etc. Da nun nach Verlust dieser drüsigen Organe schwere Ausfallerscheinungen sich bemerkbar machen, die nach Retransplantation schwinden, so ist zweifellos diesen Drüsen eine secerniernde Funktion zuzuschreiben und zwar denkt man sich diese so, dass ihr Sekret direkt in die Blutbahn abgegeben wird, ein Vorgang, der als „innere Sekretion" jetzt allgemein bezeichnet wird.

Eine eigenartige Stellung unter den Drüsen des Körpers nehmen die Geschlechtsdrüsen ein. Sie funktionieren abweichend von allen anderen Drüsen des Körpers schon dadurch, dass sie ganze Zellen, die Keimzellen, nicht aber Zellsekrete in der Hauptsache absondern; und zwar beim Männchen der Wirbeltiere durch die Ausführungsgänge der Hoden, beim Weibchen durch den Vorgang der Ovulation. Damit scheint nun aber die Funktion der Keimdrüsen für den Organismus, wenigstens was die Wirbeltiere anbetrifft, nicht erschöpft zu sein, denn nach einer Entfernung der Keimdrüsen, nament-

lich im jugendlichen Alter, machen sich Ausfallserscheinungen bemerkbar, die die sekundären männlichen und weiblichen Geschlechtsmerkmale betreffen. Man hat daher auch den Keimdrüsen neben ihrer Hauptfunktion, der Produktion der Keimzellen noch eine andere zugeschrieben, die, vermöge der inneren Sekretion oder nach einer anderen Auffassung durch reinen Nerveneinfluss, bei den betreffenden Individuen die specifischen Geschlechtsattribute, die sekundären Geschlechtsmerkmale, hervorzubringen und zu erhalten vermag. Aus welchen Zellelementen der Keimdrüsen nun die Beeinflussung durch innere Sekretion ausgeht, ist zur Zeit noch unklar. Beim Hoden neigen eine ganze Reihe von Forschern der Ansicht zu, dass es die Zellen der Zwischensubstanz, die interstitiellen Zellen sind, die diese innere Sekretion ausüben; andere wieder machen allein die Keimzellen dafür verantwortlich. Ebenso wenig geklärt scheint mir die Frage des Nerveneinflusses auf die sekundären Geschlechtsmerkmale zu sein.

Wie dem nun auch sei, jedenfalls ist bei Wirbeltieren die Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale von der Keimdrüse abhängig. Als besonders günstiges Versuchsobjekt zum Studium dieser Verhältnisse kann der braune Grasfrosch gelten, da ja beim männlichen Tier dieser Spezies die sekundären Geschlechtsmerkmale in Form von Daumenballen besonders auffällig ausgeprägt sind. Die Daumenballen bestehen aus einem Complex von einfachen acinösen Drüsen, die durch die Epidermis nach aussen münden. Ganz analog mit der Ausbildung der Samenzellen, die innerhalb eines jährlichen Cyclus erfolgt, ist nun auch die Ausprägung der sekundären Geschlechtsmerkmale. Den höchsten Grad der Ausbildung erreichen sie kurz vor und während der Brunstzeit im Frühling, um dann von Mitte Mai bis Juni, wo auch die Spermatogenese ruht, sich rückzubilden. Sobald dann Ende Juni die Samenzellbildung beginnt, nehmen auch die sekundären Geschlechtsmerkmale, Daumenballen und Vorderarmmuskeln des Männchens wieder an Umfang zu, wie dies M. Nuss-

baum[1][2]) und H. Gerhartz[3]) nachgewiesen haben. Der erstere Autor wies nun auch nach, dass bei einem kastrierten Tiere, entweder die Daumenballen und Vorderarmmuskeln sich rückbilden, wenn sie schon entwickelt sind beim Zeitpunkt der Kastration, oder sich nie mehr zu entfalten vermögen, wenn sie zur Zeit der Operation nicht vorhanden waren. Allerdings findet immer bei Kastraten kurz vor dem Winterschlafe, also wenn die Spermatogenese bei normalen Rana fusca vollendet ist und die Daumenballen schon sehr geschwollen sind, eine ganz leichte Zunahme der Drüsen der Daumenballen statt, wie ich das an lange kastrierten Tieren und wie das auch Steinach[5]) feststellen konnte; eine Tatsache, die mir nicht ohne weiteres erklärlich ist. M. Nussbaum suchte nun in ausgedehnten Untersuchungen zu analysieren, welcher Art der Einfluss sei, den die Hoden offenbar auf die Brunstorgane ausüben; er kam zu dem Schlusse, dass dieser Einfluss der inneren Sekretion zuzuschreiben sei, also eine rein chemische Wirkung wäre, die nicht nur vom lebenden Hoden, sondern auch von überlebender, aus dem Zusammenhang mit Gefässen und Nerven gelöste Hodensubstanz ausgeht. Letzteres wies er so nach, dass er einem Kastraten lebensfrische Hoden aseptisch in den Lymphsack brachte, oder ihm Hodenbrei injezierte, in beiden Fällen war eine Zunahme der Daumenballen zu konstatieren. Ich selbst habe die Versuche,

---

1) M. Nussbaum, Innere Sekretion u. Nerveneinfluss. Merkel-Bonnets Ergeb. Bd. XV. S. 39.

2) M. Nussbaum, Hoden und Brunstorgane des braunen Landfrosches (Rana fusca). Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 126. 1909.

3) H. Gerhartz, Rudimentärer Hermaphroditismus bei Rana esculenta. Arch. f. mikr, Anat. Bd. 65. 1902.

4) W. Harms, Hoden und Ovarialinjektion bei Rana fusca-Kastraten Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 133. 1910.

5) E. Steinach, Geschlechtsbetrieb und echt sekundäre Geschlechtsmerkmale als Folge der innersekretorischen Funktion der Keimdrüsen. Centralbl. f. Physiol. Bd. 24. 1910.

durch Injektion von Hodenbrei bei einem Kastraten die Daumenschwielen wieder zu erzielen wiederholt, namentlich um zu prüfen, ob auch vielleicht Ovarialsubstanz dieselbe spezifische Eigenschaft haben könnte wie Hodenbrei. Ich operierte an Fröschen, die ein Jahr kastriert waren, konnte aber trotz langer Injektion keine Zunahme erzielen. Jedoch liess sich bei dem Versuche eine andere bemerkenswerte Tatsache feststellen, die Steinach (l. a. S. 39) bestätigt hat; es war nämlich jedesmal nach einer Injektion von Hoden- oder Ovarialsubstanz ein Klammerungsreiz auszulösen, der sonst nur bei normalen Fröschen vorhanden ist. Somazellen haben dagegen diese Wirkung nicht. Zwei Tage nach der Injektion ist der Reiz schnell im Abklingen begriffen und hört am dritten Tage ganz wieder auf.

Die Frage, ob wirklich der Einfluss der Hoden auf die Brunstmerkmale auf innere Sekretion beruhe, die nach M. Nussbaum darin besteht, dass das Hodensekret in das Blut aufgenommen wird und, wie ein spezifisches Gift nur auf gewisse nervöse Zentren wirkt, bestimmte Ganglien-gruppen reizt, die alsdann vermittels centrifugaler peripherer Nerven Form und Stoffwechseländerungen in den von ihnen innervierten Organen anregen, war also nach meinen Injektionsversuchen noch nicht abschliessend entschieden, da sie ja in einem gewissen Gegensatze zu M. Nussbaums Versuchen stehen. Welche Gründe für meine abweichenden Befunde massgebend sind, lässt sich zur Zeit nicht sagen, da ich mich selbst von den glänzenden Befunden von M. Nussbaum überzeugen konnte.

Klarheit über diese Frage glaubte ich durch Modifikation des Experiments zu erzielen. Ich habe daher in diesem Frühling eine Reihe von Versuchen begonnen, die mir geeignet erscheinen, den Einfluss der Hoden auf die Brunstmerkmale darzulegen. Ich hoffte das mit Hülfe der Parabiose oder der sogenannten Parallelvereinigung, wie sie von Korschelt

zuerst genannt und an Regenwürmern ausgeführt wurde, zu erreichen. Nach den Versuchen von Sauerbruch und Heyde[1]) an Kaninchen war es wahrscheinlich, dass bei einer derartigen Parallelvereinigung ein lebhafter Stoffaustausch zwischen den beiden Komponenten stattfinden musste. In der Tat konnten die beiden vorgenannten Autoren dann auch bei den Versuchstieren feststellen, dass bei Einspritzung von Jodlösung oder salicylsaurem Natron in die Blutbahn des einen Tieres, sich diese Substanzen nach 1—2 Stunden im Harn des anderen Tieres nachweisen liessen. Wenn also ein frisch kastriertes Tier mit einem normalen parallel vereinigt wird, so müssen, wenn die sekundären Brunstmerkmale durch innere Sekretion hervorgerufen werden, letztere bei den Kastraten sich unverändert erhalten, da ja das in das Blut übergetretene Sekret von dem normalen Tiere auch in das des kastrierte Kompontenten übertritt.

Die Versuche wurden Anfang März an Rana temporaria ausgeführt. Die Tiere wurden vor der Operation in tiefe Narkose versetzt, die mindestens $1^1/_2$—2 Stunden anhalten muss. Zuerst wird ein Tier vollständig kastriert und zwar von der linken Seite her, darauf wird bei dem normalen Tier die Bauchhöhle an der rechten Seite eröffnet und zuerst die Bauchmuskelwände der beiden Tiere mit einander fest durch Catgutnähte aneinandergefügt unter mehr oder weniger grosser Kommunication der Bauchhölen. Darauf werden dann auch die Hautwundränder der beiden Tiere durch Knopfnähte mit einander vereinigt. Damit ist die eigentliche Operation beendet, es ist nun noch eine möglichst weitgehende Immobilisierung der Partner anzustreben, damit eine ungestörte Heilung der Bauchwunden eintreten kann. Da ein Verband bei einem Frosch nicht angängig ist, auch

---

1) F. Sauerbruch u. M. Heyde, Ueber Parabiose künstlich vereinigter Warmblüter. Münch. Med. Wsch. N. 4 1908.

von den Tieren wegen ihrer intensiven Hautatmung und häufigen Häutung nicht ertragen wird, muss man die Tiere auf andere Art und Weise fixieren. Das gelang auf die Weise, dass dicke Seidenfäden unter die Haut gelegt wurden, und zwar so, dass der Faden in Form einer 8 beide Tiere an verschiedenen Stellen umschlang, so im Nacken, um die neben einander gelegenen Extremitäten etc. Für Ein- und Austritt des Fadens darf nur eine Oeffnung an der dem bebetreffenden Partner zugekehrten Seite sein, um die Infektionsgefahr zu vermeiden. Oberhalb der dorsalen Hautnaht wurde dann in der ersten Zeit immer noch eine Sicherungsnaht angelegt. Die operierten Tiere wurden in sterilen Glasschalen mit etwas Wasser gehalten, sodass sie etwa zur Hälfte davon bedeckt waren, wenn die Tiere sich dann bewegen ist die Reibung im Wasser geringer als im trocknen Glase. Die Tiere müssen täglich wohlmöglich zweimal gereinigt werden. Sowie nur eine Spur von Sepsis sich bemerkbar macht, ist der Tod der Tiere sicher. Die Nähte fallen gewöhnlich nach 8—10 Tagen von selbst heraus eventuell kann man etwas nachhelfen.

Vor dem Versuche ist natürlich eine genaue Besichtigung des Zustandes der Frösche nötig, namentlich darauf hin wie ihr Ernährungszustand und die Daumenschwielen beschaffen sind. Auch gewogen müssen die Tiere werden, damit nach dem Versuche eine eventuelle Gewichtsabnahme festgestellt werden kann. Das ist nötig, um den Einwänden begegnen zu können, die Schwielen hätten sich durch Unterernährung zurückgebildet, was in der Tat bei schlechter Fütterung oder Hunger eintreten kann. Meine Versuchstiere wurden schon zwei Tage nach der Operation gefüttert, sie verdauten auch ganz gut, und am Ende der Versuchzeit war nie ein Gewichtsverlust eingetreten.

Es wurden von Rana temporaria vier gelungene Parallelvereinigungen gemacht; drei davon waren so ausgeführt, dass ein normales Männchen mit einem Kastraten ver-

einigt war, bei einem Versuch war der normale Partner ein Weibchen, das noch nicht abgelaicht hatte. Die ersten drei Versuchspaare waren je zwei, bezw. einen Monat und 16 Tage vereinigt. Der letzte Versuch hatte eine Dauer von 39 Tagen. Die Versuche konnten nicht länger als auf zwei Monate ausgedehnt werden, da von Mitte Mai an die Daumenballen sich auch normaler Weise zurückbilden wegen der vollständigen Beendung der Brunstzeit, jedoch nur in sofern, als die Drüsen klein werden, nicht aber wie bei Kastraten schwinden.

Die beiden Tiere, die zwei Monate mit einander vereinigt waren, wurden am 19. Mai getötet und in Zenker fixiert. Die Sektion ergab, dass die Kastration bei dem einen Tier eine vollständige gewesen war, der Fettkörper jedoch, der sonst bei Kastraten weiss wird, war hier intensiv gelb geblieben, wie beim normalen Tier. Ein Befund, der auch bei allen gleichartig operierten Tieren, auch wo der normale Partner ein Weibchen war, wiederkehrte. Bei allen mit einem normalen Männchen oder Weibchen vereinigten Kastraten war ausserdem stets der Brunstreiz wie bei einem normalen Tier auszulösen, was bei einem Kastraten nicht möglich ist. Was nun die Daumenschwielen anbetrifft, so war äusserlich mit blosen Auge betrachtet kein allzu grosser Unterschied zwischen beiden Tieren zu konstatieren; allein die mikroskopische Untersuchung ergab bei dem kastrierten Partner einen fast vollständigen Schwund sowohl der Drüsen wie auch der Höcker der Epidermis, obwohl sie beim normalen Partner gut erhalten waren. Dasselbe Resultat erzielte ich mit Tieren, die weniger als 2 Monate vereinigt waren, auch da war schon nach 16 Tagen in einem Falle bei dem Kastraten eine beginnende Atrophie der Daumenballen im mikroskopischen Präparat festzustellen, die dann normal, wie sonst auch bei unbeeinflussten Kastraten, weiter geht. Bei Tieren, die einen Monat vereinigt waren war der Unterschied schon ein ganz enormer. Auch bei den mit einem normalen nicht abgelaichten Weibchen vereinigten Kastraten waren

nach einem Monate die Drüsen der Daumenballen im Schwinden begriffen, obwohl sich bei der Sektion ergab, dass die Bauchhöhlenkomunikation sehr gut gelungen war. Ein Ovarium war in den Bauch des Kastraten eingetreten, ohne Verwachsungen zu zeigen.

Bei den Versuchen ergab sich also direkt das Entgegengesetzte von dem was erwartet werden konnte. Die sekundären Geschlechtsmerkmale des Kastraten konnten nicht durch den normalen Partner auf der Höhe ihrer Ausbildung erhalten bleiben. Trotzdem hatte doch offenbar eine Beeinflussung durch letzteren stattgefunden, denn der Brunstreiz konnte ausgelöst werden und auch das Merkmal eines Kastratenfrosches, der weisse Fettkörper, den M. Nussbaum nachgewiesen hat, war nicht aufgetreten. Es müssen also offenbar spezifische Substanzen durch die Säfte der normalen Tiere dem Kastraten zugegangen sein. Man kann nun annehmen, dass der Säfteaustausch kein so intensiver war, um die sekundären Merkmale vor den Folgen der Kastration zu bewahren, oder wir müssen einen wirksamen Einfluss auf die sekundären Merkmale der Kastraten seitens des normalen Partners vielleicht überhaupt von der Hand weisen, wenn wir M. Nussbaums Definition von dem Ablauf der Reize auf die sekundären Merkmale heranziehen. Nach ihm wird das Hodensekret zwar in das Blut aufgenommen, wirkt dann aber nicht direkt auf die sekundären Geschlechtsmerkmale, sondern wie ein spezifisches Gift auf gewisse nervöse Centren, die dann erst vermittels zentrifugalen peripherem Nerven auf die von ihnen innervierten Organe wirken. M. Nussbaum hat experimentell nachgewiesen, dass wenn man die Nerven, die zu den Daumerschwielen führen, durchschneidet, ein Schwund der letzteren eintritt. Von einer Inakivitätsatrophie kann man hier nicht sprechen da die Drüsen zur Zeit des Versuches überhaupt noch keine Funktion besassen.

Nehmen wir nun an, dass das Sekret der Hoden des normalen Partners in die Blutbahn gelangt, so wird der Reiz

auf das betreffende Nervenzentrum, von dem die Schwielen innerriert werden, unverändert fortbestehen, auch die Schwielen werden normal bleiben müssen; anders bei dem kastrierten Partner; in seinen Kreislauf gelangen zwar von dem normalen Partner Blutmengen und damit auch spezifische Sekrete, die aber dann erst sekundär, vielleicht auch schon modifiziert auf das erwähnte Zentrum des Kastraten einwirken, ausserdem noch in sehr abgeschwächtem Masse, sodass die Daumenballen trotzdem schwinden müssen.

Vorliegende Versuche erachte ich jedoch keineswegs als abgeschlossen, obwohl sie ja mit meinen Versuchen mit langandauernder Injektion von Hoden- und Ovarialsubstanz übereinstimmen; auch bei diesen Versuchen war nach jeder erneuten Injektion der Brunstreiz auszulösen; ein Wachstum der Daumenballen fand dagegen nicht statt. Ergänzende Versuche sollen nun im August bis Oktober noch nach der Richtung hin gemacht werden, dass Kastraten mit schon rückgebildeten Daumenballen, die ich jetzt schon bereit habe, mit normalen Tieren, Männchen und Weibchen vereinigt werden, um festzustellen, ob nicht eine, wenn auch nur geringe Zunahme der Daumenschwielen dadurch zu erzielen ist.

Weiter folgte der Vortrag des Herrn W. Harms:

## Bemerkungen zu einer Demonstration von Ovarialtransplantation auf fremde Species bei Lumbriciden und Tritonen.

Es wurden eine Reihe von Präparaten, zunächts von Lumbricus und Allolobophora, vorgeführt, die zeigen sollten, dass ein transplantiertes Ovarium von einer Species (Lumbricus) auf eine andere fremde Species (Allolobophora) nicht nur normal einheilte, sondern auch seine Funktionen beibehalten kann. Der Erhaltungszustand war noch nach einem Jahre ein vorzüglicher.

Auch beim Triton heilten die artfremden Ovarien an, jedoch nur bei etwa 10 % aller Fälle. Die Präparate zeigten gelungene Transplantate von zehn Tagen bis $3^1/_2$ Monaten nach der Operation. Genau wie bei der Transplantion, auf die gleiche Art, werden zuerst die grösseren, reifen Eier rückgebildet, während die Primordialeier erhalten bleiben, und durch Vermehrung das Organ regenerieren. Zahlreiche Mitosen und neugebildete Eier zeigten das intensive Wachstum der Transplantate.

---

In der der wissenschaftlichen Sitzung folgenden Wahlsitzung wurden zu ordentlichen Mitgliedern gewählt die Herren: Prof. Dr. Diels, Prof. Dr. Gürber, Prof. Dr. Matthes, Prof. Dr. Römer, Prof. Dr. Schmidt und Prof. Dr. Zangenmeister.

Zu ausserordentlichen Mitgliedern wurden folgende Herren gewählt: Herr Dr. Ernst, Berlin, Herr Privatdozent Dr. Bruns, Herr Dr. Grüter, Herr Prof. Dr. G. Fischer, Herr Prof. Dr. Keller, Herr Dr. Martin Schenck.

---

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 3 Juli 1911


In der Sitzung vom 12. Juli sprach Herr Römer:

### Ueber den Erreger der Meerschweinchenlähme.

Im hiesigen ärztlichen Verein habe ich kürzlich über eine von mir beobachtete und als „Meerschweinchenlähme“ bezeichnete Erkrankung berichtet, die in mannigfacher Hinsicht Interessantes bot. Sie schien mir vor allem beachtenswert wegen der frappanten Aehnlichkeiten, die sich in klinisch-symptomatologischer, pathologisch-histologischer und besonders in ätiologischer Hinsicht zwischen ihr und der Kinderlähmung des Menschen zeigten, mit der wir vor 2 Jahren in Deutschland und speziell auch bei uns in Marburg in so unerfreulich-intensive Berührung gekommen sind. Meine Untersuchungen über diese Meerschweinlähme habe ich inzwischen fortgesetzt und ich möchte an dieser Stelle über diese erweiterten Erfahrungen berichten, da die Erkrankung in ätiologischer Hinsicht zweifellos ein allgemein-biologisches Interesse beanspruchen darf.

I.

Zunächst möchte ich einige Bemerkungen über das Krankheitsbild des Versuchstieres, dargestellt auf Grund meiner erweiterten sich nunmehr über 80 Tiere erstreckenden Erfahrungen, voraussenden.

Die spontane Erkrankung tritt vereinzelt auf. Im letzten Halbjahr habe ich insgesamt 2 Fälle gesehen; es scheint mir

allerdings, dass in früheren Zeiten, als wir die Krankheit auch schon sahen, ihr aber noch keine grössere Aufmerksamkeit schenkten, die Fälle etwas reichlicher gewesen seien. Jedenfalls handelt es sich um eine bisher nur sporadisch auftretende Erkrankung. Wir erkennen sie an Lähmungserscheinungen. Diese Lähmungen sind aber nur das Endstadium der Erkrankung und um den gesamten Krankheitsverlauf zu verfolgen, müssen wir uns an die künstlich erzeugte Erkrankung halten. Die beigegebenen Temperaturkurven von 12 Tieren, bei denen ich vom Moment der Infektion ab täglich zweimal die Temperatur gemessen und die Krankheitserscheinungen genau von Tag zu Tag verfolgt habe, zeigen übersichtlich den Verlauf des Prozesses. Der Infektion folgt zunächst ein Inkubationsstadium, während dessen Temperatur und Gewichtsverhältnisse im wesentlichen normal bleiben. Das Inkubationsstadium bis zum Auftreten der ersten Fieberbewegungen dauert 8 bis 13 Tage, durchschnittlich 11 Tage. Die Zeit bis zum Auftreten der ersten deutlichen „nervösen“ Erscheinungen beträgt 9 bis 40 Tage, durchschnittlich $15^1/_2$ Tage. Das Gros der Tiere erkrankt zwischen dem 11. bis 16. Tag. Mit Beginn der Lähmungen sinkt das Fieber ab, ebenso das Gewicht, so dass Temperatur- und Gewichtskurve schliesslich parallel verlaufen bezw. sich decken. Die Dauer der Krankheit schwankt zwischen 2 bis 36 Tagen (durchschnittlich 12 Tage). Die Länge der Inkubationszeit hängt sehr von der Infektionsdosis ab; je grösser die Dosis, um so kürzer die Inkubation. Bei gleichmässig geimpften Tieren setzten die Krankheitserscheinungen meist genau auf den gleichen Tag ein; die Dauer der nachfolgenden Krankheit kann aber gleichwohl sehr verschieden sein.

Die „nervösen“ Erscheinungen beginnen mit einer eigentümlichen Muskelschlaffheit des Tieres, besonders im Bereich des Hinterkörpers; es gesellt sich ausgesprochene Schwäche der hinteren Extremitäten hinzu, die immer mehr zunimmt

und schliesslich in völlige Lähmung übergehen kann. Viel seltener werden auch die vorderen Extremitäten befallen, noch seltener diese allein oder zusammen mit der Nackenmuskulatur. Gelegentlich besteht auch Blasenlähmung. Der Tod erfolgt unter enormer Abmagerung des Tieres. (Demonstration lebender, gelähmter Meerschweine.)

Pathologisch-histologisch findet sich eine hauptsächlich aus Lymphocyten gebildete Infiltration der Pia mater im Bereich des Gehirns und Rückenmarks, die mit den Gefässen auch auf die nervöse Substanz übergreift. Sie findet sich hier innerhalb der weissen Substanz fast ausschliesslich als Infiltrate in der Umgebung der Gefässe, während sie in der grauen Rückenmarkssubstanz auch sonst im Gewebe sich findet, besonders intensiv in der Umgebung des Centralkanals. Diese Infiltrate der grauen Rückenmarksubstanz führen sekundär zur Ganglienzellenschädigung, zur Ganglienzellenrarefizierung und schliesslich zu ihrem Schwund, woraus sich sehr einfach die Lähmungen erklären. Wir finden also eine disseminierte Entzündung im Zentralnervensystem, bei der die gewöhnlichen Eiterzellen, die polynucleären Leukocyten, sehr zurücktreten gegenüber den Lymphocyten. Die Entzündung betrifft hauptsächlich die Pia mater, sodann die Substanz des Gehirns und Rückenmarks selbst, besonders in Form an die Gefässe geknüpfter Infiltrate. (Demonstration von Präparaten.)

Die Erkrankung zeigt also sowohl in ihrem klinisch-symptomatologischen wie in ihrem pathologisch-histologischen Verhalten auffallende Aehnlichkeiten mit der Poliomyelitis acuta des Menschen.

II.

Bei der färberischen Untersuchung von Ausstrich- und Schnittpräparaten mit Hilfe verschiedener Färbemethoden fanden sich auch im Bereich der intensivsten Läsionen keinerlei fremdartige, mit Sicherheit als Parasiten anzusprechende Gebilde. Ebenso versagte der Kulturversuch trotz Anwendung vielfach modifizierter Nährböden. Gleich-

wohl ist die Ursache der Erkrankung ein lebendes Virus. Den Beweis führt unschwer das Tierexperiment. Wegen der zweifellosen elektiven Beziehungen des vermuteten Virus zum Centralnervensystem machte ich vor allem von der intracerebralen Verimpfung von Gehirn-Rückenmarks-Emulsionen erkrankter Meerschweine auf andere Meerschweine Gebrauch; ich verwandte also dieselbe Methode, mit der in bewusster Anlehnung an die Hundswut-Versuche Pasteurs vor $1^1/_2$ Jahren der Nachweis glückte, dass die Ursache der Kinderlähmung des Menschen ein lebendes Virus ist. Es gelingt mit dieser Methode leicht und sicher die Krankheit von Meerschwein zu Meerschwein zu verimpfen; das Virus hat nunmehr schon 8 Generationen Meerschweine passiert. Ich brauche wohl nicht hinzuzufügen, dass die Kontrollverimpfung von Gehirn-Rückenmarks-Emulsionen normaler, nicht gelähmter Meerschweine keine Lähmungen zur Folge hatte. Damit ist der Beweis geliefert, dass die Ursache der Meerschweinchenlähmung ein lebendes Virus ist. Um gleich seine wichtigste Eigenschaft vorweg zu nehmen, so ist mitzuteilen, dass das Filtrat von Rückenmarks-Emulsionen die nach entsprechender Verdünnung durch ein bakteriendichtes Filter geschickt waren, wirksam blieb. Es gehört das Virus somit zu den sogenannten filtrierbaren Virusarten.

Die erste Bekanntschaft mit dieser Gruppe von Krankheitserregern verdanken wir Untersuchungen von Löffler und Frosch, die — wie das so häufig geschieht — in der Absicht etwas ganz anderes zu finden, diese neue Art von Parasiten entdeckten. Bei ihren Untersuchungen über die Maul- und Klauenseuche suchten sie aus dem Inhalt der Hautpustel eines erkrankten Rindes, die das Virus enthielt, den Parasiten zu entfernen, indem sie die Flüssigkeit durch ein Bakterienfilter filtrierten. Sie taten es in der Absicht, dadurch ein in der Pustelflüssigkeit von ihnen vermutetes Gift frei vom lebenden Erreger zu gewinnen und zu Immunisie-

rungszwecken zu verwenden. Zu ihrer grössten Ueberraschung rief aber das Filtrat typische Maul- und Klauenseuche bei einem geimpften Rinde hervor. Den Gedanken, dass ein lebloses Toxin die Ursache der Erkrankung bei diesem Rind sei, mussten sie fallen lassen, da die Weiterimpfung von jenem ersterkrankten Rind aus in beliebig vielen Generationen wiederum prompt die Erkrankung veranlasste. Ein unbelebtes Gift würde bereits nach wenigen Passagen eine so beträchtliche Verdünnung erfahren haben, dass man an eine geradezu märchenhafte Wirksamkeit des Ausgangsgiftes hätte glauben müssen. Die unbegrenzte, so zu sagen unendlich sich fortsetzende Wirksamkeit des „Giftes" konnte nur durch ein lebendes reproduktionsfähiges Virus verursacht sein, das offenbar die Fähigkeit besitzen musste, die engsten Filterporen zu passieren. Löffler und Frosch sagten schon damals voraus, dass vielleicht für eine ganze Anzahl bisher ätiologisch nicht geklärter, menschlicher und tierischer Infektionskrankheiten solche filtrierbaren Parasiten als Erreger in Betracht kommen.

Das hat sich in der Tat erfüllt. Von menschlichen Infektionskrankheiten, die hierin gehören, sind die Hundswut, das Gelbfieber, die Pocken, das Pappatacifieber, die Poliomyelitis, der Typhus exanthematicus, der Scharlach, das Trachom (?), die Weil'sche Krankheit (?) zu erwähnen; von tierischen Infektionskrankheiten ausser der Maul- und Klauenseuche und der Hundswut, die Pferdesterbe, die Hühnerpest, die Peripneumonie des Rindes, die Hühnerpocke, die Schafpocken, die Schweinepest und die Rinderpest (?). Auch eine pflanzliche Infektionskrankheit, die sogenannte Mosaikkrankheit des Tabaks, gehört hierher.

Die Erreger dieser Krankheiten rechnet man also zu den filtrierbaren Virusarten. Man hat auch von ultravisiblem, unsichtbarem Virus gesprochen. Das ist zweifellos nicht berechtigt. Denn einmal giebt es, wie Schaudin betont hat, Parasiten, die in bestimmten Stadien gross d. h. mit den

üblichen Vergrösserungen leicht zu erkennen sind, gleichwohl aber Entwicklungsformen zeigen können, die die Fähigkeit besitzen, Bakterienfilter zu passieren; anderseits existieren filtrierbare Virusarten, die gerade noch sichtbar sind. (Erreger der Peripneumonie des Rindes.) Im allgemeinen sind allerdings diese filtrierbaren Virusarten bisher nicht sichtbar geworden und vermutlich wohl wegen ihrer Kleinheit[1]). Wenn wir daher eine virushaltige Flüssigkeit in Händen haben, in der wir mit Hilfe der üblichen und sonst erfolgreichen Untersuchungsmethoden einen Parasiten morphologisch nicht identifizieren können, so liegt immer der Verdacht nahe, dass es sich um einen filtrierbaren Erreger handelt. Gemeinsam ist weiter den filtrierbaren Parasiten, dass sie nicht züchtbar sind; eine Ausnahme hiervon bildet wiederum lediglich der Erreger der Peripneumonie des Rindes, den Nocard und Roux dadurch zu Wachstum im künstlichen Nährboden bringen konnten, dass sie beimpfte Bouillon in Kollodiumsäckchen einschlossen und diese Säckchen in die Bauchhöhle des Rindes einführten. Allenfalls glückte noch die Kultur ausserhalb des Tierkörpers, wenn sie Bouillon beimpften, in die mit Hilfe der gleichen Methode Säfte aus dem Rinderorganismus hineindiffundiert waren. Es glückte also die künstliche Kultur doch nur unter sehr starker Anlehnung an die Verhältnisse in vivo.

Jeder Versuch einer systematischen Einordnung und Einteilung dieser filtrierbaren Virusarten ist bisher vergeblich gewesen; es ist das auch durchaus verständlich, da wir morphologisch diese Lebewesen vorläufig nicht charakterisieren können. Ihre auf indirektem Wege erkannten Eigenschaften (Verhalten gegen gewisse physikalische und chemische Einflüsse) gehen aber soweit auseinander, dass sie als Grundlage für eine Einteilung bisher nicht verwertbar sind. Es bleibt also vorläufig nichts anderes übrig, als die Eigen-

1) Auf die Befunde von sogen. „Chlamydozoen" soll hier wegen ihrer schweren Deutbarkeit nicht eingegangen werden.

schaften eines jeden einzelnen Virus möglichst sorgfältig zu studieren; vielleicht werden wir über kurz oder lang dann auch noch zu einer gewissen Gruppierung kommen. Hindernd für diese Untersuchung ist aber der Umstand, dass wir die Erreger der meisten eben genannten menschlichen Infektionskrankheiten nur durch Versuche direkt am Menschen, bestenfalls mit Hilfe kostspieliger Affenexperimente, studieren können. Auch für die Erreger der erwähnten Tierkrankheiten sind zumeist nur grössere Tiere empfänglich. Lediglich der Erreger der Hühnerpocke und der Hühnerpest ist an einem kleinen, wenn auch nicht ganz billigen, Versuchstier erforschbar. Ausserdem kann das Hundswutvirus, für das ja alle Säugetiere empfänglich sind, auch an den kleinen Laboratoriumstieren studiert werden und gehört wohl nicht zuletzt deshalb zu den am besten erforschten Parasiten unter den filtrierbaren Virusarten. Die Meerschweinchenlähme bietet eine willkommene neue Gelegenheit für ein systematisches Studium eines filtrierbaren Parasiten an einem uns vertrauten, billigen und leicht zu haltenden Versuchstier.

## III.

Wegen der Aehnlichkeiten dieser Meerschweinchenlähme mit der Poliomyelitis acuta des Menschen habe ich mein Augenmerk auf die Frage der Beziehungen dieser beiden Virusarten gerichtet. Abgesehen von den schon erwähnten Analogien im klinischen und pathologisch-histologischen Verhalten der beiden Erkrankungen, vermehrten sich die Aehnlichkeiten noch insofern, als der Erreger der Meerschweinchenlähme genau wie das Poliomyelitisvirus sich vorzugsweise im Zentralnervensystem findet, ausserdem genau wie jenes sich in den Lymphdrüsen gern ansiedelt, während er im Blut und in den hauptsächlich bluthaltigen Organen in der Regel nicht vorhanden ist. Ebenso ist beiden die intracerebrale Verimpfung als optimale Infektionsmethode gemeinsam. Gemeinsam ist beiden weiter, wie erwähnt, die Filtrierbarkeit des Erregers.

Der Vergleich weiterer auf indirektem Wege ermittelter Eigenschaften ergiebt folgendes:

(In der nachfolgenden Tabelle bedeutet +++ = vollvirulent, ++ = mässig virulent, + = schwach virulent, 0 = avirulent.)

| Verhalten gegen: | Poliomyelitisvirus des Menschen | Virus der Meerschweinchenlähme |
|---|---|---|
| Niedr. Temperat. | 4 Tage gefroren : +++<br>11 Tage gefroren : +++ | 4 Tage gefroren : +++<br>12 Tage gefroren : +++ |
| HoheTemperatur | ½ Stunde auf 40° : +++<br>½ Stunde auf 45° : +<br>½ Stunde auf 50° : 0<br>½ Stunde auf 55° : 0<br>½ Stunde auf 60° : 0 | ½ Stunde auf 40° : +++<br>½ Stunde auf 45° : +++<br>½ Stunde auf 50° : +++<br>½ Stunde auf 55° : ++<br>½ Stunde auf 60° : 0<br>½ Stunde auf 65° : 0 |
| 50% Glycerin | 14 Tage : +++<br>30 Tage : +++<br>91 Tage : +++<br>142 Tage : +++ | 48 Stunden : +++<br>10 Tage : +++<br>19 Tage : +<br>31 Tage : ?<br>45 Tage : ++<br>56 Tage : 0 |
| Trocknung | 7 Tage : +++<br>24 Tage : +++<br>28 Tage : +++ | 4 Tage : 0<br>9 Tage : 0 |
| Virulenz | für Meerschweine : 0 | für Meerschw. : +++ |

Es sprechen diese Versuche also für recht beachtenswerte Differenzen der beiden Virusarten in ihrem Verhalten gegen höhere Temperaturen, gegen 50%iges Glycerin, gegen Austrocknung und gegenüber dem Meerschwein. Sie sprechen aber nicht unbedingt gegen das Bestehen gewisser phylo-

genetischer Beziehungen der beiden Virusarten. Es könnte durch Anpassung an die verschiedenen Tierkörper eine Modifikation der verwandten Arten eingetreten sein. Wir brauchen nur an die gründliche biologische Umstimmung zu denken, die das Hundswut-Originalvirus (Strassenvirus) bei seiner fortgesetzten Passage durch den Kaninchenkörper erfährt. Es wird hierdurch zu dem für den Menschen bei subkutaner Einspritzung völlig unschädlichen und deshalb als Schutzimpfstoff verwertbaren sogen. Virus fixe.

Eine Methode, die mit grosser Sicherheit die Frage des Bestehens oder Nichtbestehens phylogenetischer Beziehungen von ähnlichen Parasiten beantwortet, besteht in der Verwertung spezifischer Antikörper zur Differenzierung. Das Blutserum von Menschen oder von Affen, die die Poliomyelitis acuta überstanden haben, vermag bei Mischung mit dem Poliomyelitisvirus in vitro diesem seine Infektiosität zu nehmen. Von dieser Eigenschaft des Antipoliomyelitisserums haben Professor Müller und ich in gemeinsamen Untersuchungen erfolgreichen Gebrauch zur diagnostischen Aufklärung klinisch zweifelhafter Fälle gemacht. In der nachfolgenden Versuchsreihe habe ich nun zu entscheiden versucht, ob die Poliomyelitis-Antikörper bei entsprechender Versuchsanordnung auch das Virus der Meerschweinchenlähme unschädlich zu machen vermögen. Das Resultat dieser Versuchsreihe enthält die nachfolgende Tabelle:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Meerschw. Nr. | 1 | Lähmevirus + phys. Kochsalzl. | = gelähmt am 14.VI. |
| „ „ | 2 | „ + 0,4 % Karbolsäure | = gel. am 14.VI. |
| „ „ | 3 | „ + Normal-Menschenserum | = gel. am 15.VI. |
| „ „ | 4 | „ + Normal-Affenserum | = gel. am 14.VI. |
| „ „ | 5 | „ + Pm-Serum Affe 6 | = gel. am 16.VI. |
| „ „ | 6 | „ + Pm-Serum Affe 58 | = gel. am 15.VI. |
| „ „ | 7 | „ + Pm-Serum Affe 51 | = gel. am 16.VI. |
| „ „ | 8 | „ + Pm-Serum Affe 46 | = gel. am 16.VI. |
| „ „ | 9 | „ Pm-Serum Mensch Br. | = gel. am 16 VI. |
| „ „ | 10 | „ Pm-Serum Mensch H. | = gel. am 14.VI. |
| „ „ | 11 | „ Pm-Serum Mensch N. | = gel. am 16.VI. |

Es sind also sämtliche Meerschweine der vorstehenden Versuchsreihe erkrankt und zwar alle fast gleichmässig genau an demselben Tage. Es vermag also das Antipoliomyelitisserum nicht den Erreger der Meerschweinschenlähme zu neutralisieren unter Bedingungen, unter denen es das Poliomyelitisvirus prompt unschädlich macht. Es ist somit der Erreger der Meerschweinchenlähme wahrscheinlich ein besonderes Virus, das keinerlei nachweisbare phylogenetische Beziehungen mit dem Erreger der Poliomyelitis des Menschen aufweist trotz mancher Aehnlichkeiten im klinischen und pathologisch-histologischen Verhalten der entsprechenden Erkrankungen.

Endlich möchte ich auf eine bisher nicht sehr beachtete Eigentümlichkeit dieser durch filtrierbares Virus bedingten Krankheiten hinweisen. Sie erzeugen fast ausnahmslos eine sehr kräftige, sehr langdauernde gewöhnlich für das ganze Leben des befallenen Individuums andauernde Immunität. Es gilt das für die Pocken, für das Gelbfieber, für den Typhus exanthematicus, für die Poliomyelitis, für den Scharlach und wahrscheinlich noch andere. Es ist wohl kein Zufall, wenn gerade bei den Pocken und bei der Hundswut, also Krankheiten bedingt durch filtrierbares Virus, zuerst eine wirksame Schutzimpfung verwirklicht worden ist und diese bisher die einzigen wirklich zuverlässigen Vaccinationen beim Menschen geblieben sind. Auch die Immunität bei den erwähnten Tierkrankheiten, wie Hühnerpocke, Hühnerpest, Schafpocken, Pferdesterbe, Schweinepest, Rinderpest, ist in der Regel eine lebenslängliche (über die Maul und Klauenseuche gehen die Meinungen etwas auseinander). Im Gegensatz dazu ist die nach bakteriellen Infektionskrankheiten zurückbleibende Immunität in der Regel eine zeitlich recht begrenzte und da wo sie länger andauert, liegen die Verhältnisse in der Regel so, dass der betreffende Organismus entsprechende Zeit vom Virus befallen bleibt (Tuberkulose, Typhus). Man ist versucht, auf Grund dieser Erwägungen schon a priori anzunehmen, dass der Erreger der in der

Regel eine Immunität auf Lebenszeit zurücklassenden Masern ebenfalls ein filtrierbares Virus sein muss. Ja man wäre fast zu der Schlussfolgerung versucht, dass die jetzt ziemlich allgemein angenommene bakterielle Aetiologie des Keuchhustens (Keuchhustenbazillus Bordet's) nicht zu Recht besteht wegen der soliden und lebenslänglichen Immunität, die der Keuchhusten zurücklässt.

Zum Schluss noch folgende Ueberlegung. Es liegt die Erwägung sehr nahe, ob nicht entsprechend diesen filtrierbaren krankmachenden Organismen auch filtrierbare Saprophyten existieren. Wissen wir doch, dass den krankmachenden Bakterien viel reichlichere saprophytische Stammesgenossen entsprechen. Das gleiche gilt für die tierischen Parasiten. Es ist daher höchst wahrscheinlich, dass auch die filtrierbaren Virusarten saprophytische Analoga besitzen. Wir sind aber nicht in der Lage, ihre Existenz zu beweisen. Denken wir uns ein organismenreiches Material filtriert, in dem solche filtrierbaren Saprophyten vorhanden seien, so können wir in dem Filtrat ihre Existenz nicht beweisen. Sie sind ja nicht sichtbar und nicht züchtbar, und die bisher einzige Methode zu ihrem Nachweis – der Tierversuch — versagt beim Saprophyten. Wir befinden uns also hier einem höchstwahrscheinlich vorhandenen, aber noch unerkannten und vorläufig noch unerkennbaren Reich von Kleinlebewesen gegenüber. Wir sind — wenn der Vergleich erlaubt ist — in ähnlicher Lage wie der Chemiker, der auf Grund theoretischer Konstruktion und praktischer Erfahrungen die Existenz gewisser Körper mit grosser Bestimmtheit behaupten kann, aber nicht in der Lage ist, sie mit Sicherheit zu beweisen, da ihm Methoden mangeln, um sie darzustellen.

---

In der der wissenschaftlichen Sitzung folgenden Wahlsitzung wurde Herr Geheimrat Mannkopff zum Ehrenmitglied der Gesellschaft gewählt.

---

## Aufgelegte Schriften:

Berichte d. naturwissensch. Vereins zu Regensburg. XII. Heft f. d. Jahre 1907—1909. Regensburg 1910.

Sitzungsberichte d. physikal. medizin. Gesellschaft zu Würzburg 1909, Nr. 1—5. Würzburg 1910.

Jahresberichte der Gesellschaft f. Natur- und Heilkunde in Dresden. Sitzungsperiode 1909/10. München 1910.

„Flora." Kgl. Sächs. Gesellsch. f. Botanik u. Gartenbau zu Dresden. Sitzungsberichte u. Abhandlungen. 14. Jahrg., N. F. Dresden 1910.

Verhandlungen d. naturforschenden Gesellschaft in Basel. Band XXI. Basel 1910.

Jahresbericht d. naturforschenden Gesellschaft Graubünden. N. F., 52. Band, 1909/10. Chur 1910.

Mitteilungen d. naturwiss. Vereins f. Steiermark. Band 46, Heft 1 u. 2. Graz 1910.

Verhandlungen d. k. k. geolog. Reichsanstalt f. 1910. Nr. 2—8. Wien 1910.

Leopoldina, amtl. Organ d. k. deutschen Akademie d. Naturforscher. Heft 46, Nr. 8—10. Halle 1910.

Rendiconto dell' Academia d. Science fisiche e matematiche. Serie III, 16. fasc. 1—6. Napoli 1910.

Atti d. reale Academia dei Lincei. Vol. 19., Fasc. 2—7. Rom. 1910.

Bolletino laboratorio di Zoologia. Vol. 4. Portici 1910.

Sitzungsber. medicin. Section des Erdeleger Museum-Vereins. Band XXXII, 1—7. Koloszwar 1910. (Hermannstadt.)

Naturwiss. Museumshefte d. Siebenburg. Museumsvereins. Bd. I, 1, 2. II, 1, 2. IV, 1, 2. Hermannstadt. 1906, 1907, 1909.

Bulletin de l'Academie impêriale de science à Petersbourg. 1910, 12—14. Petersbourg 1910.

Arbeiten d. Museums Peters des Grossen. Band III, 2—4. Petersburg 1910.

Schriften der kiewschen naturforsch. Gesellschaft. Band 21, 2. Kiew 1910.

Bulletin de la Société impériale de naturalistes. Moscou. Neue Serie. Band 23. Moskau 1910.

Memoirs Proceedings. Manchester Litterary and Philos. Soc. Vol. 54. Part. III. Manchester 1910.

Jaarbook Koninkl. Akad. van Wetenschappen Amsterdam für 1909. Amsterdam 1910.

Koninkl. Akademie van Wetenschappen d. Amsterdam. Deel 18, 1. u. 2. Teil. Amsterdam 1910.

Verhandel. koninkl. Akademie van Wetensch. Amsterdam. Deel 15, 2. Deel 16, 1—3. Amsterdam 1910.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 4 Dezember 1911


In der Sitzung vom 13. Dezember 1911 sprach Herr Berlin:

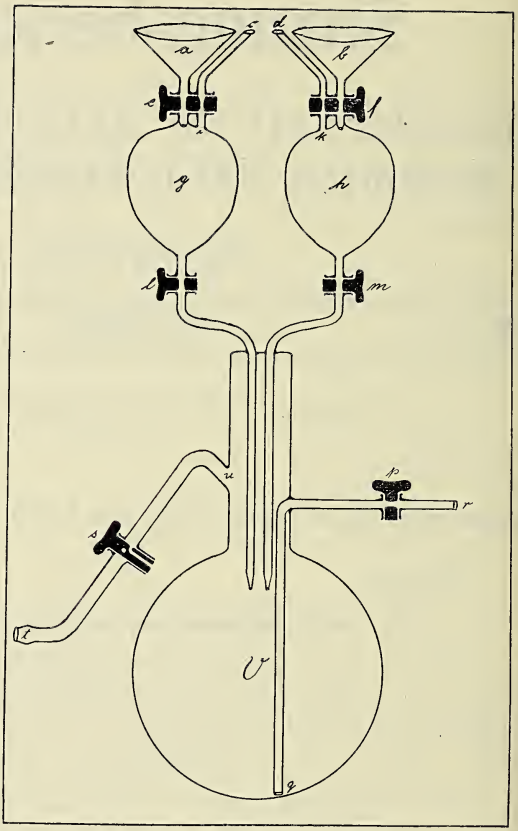
### Ueber zwei neue Apparate für den Laboratoriumsgebrauch.

Zunächst

**ein neuer Salzsäureentwickelungsapparat.**

Während man in der Laboratoriumpraxis gewöhnlich gasförmige Salzsäure durch Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure auf ein Chlorid darstellt — sei es nun, dass man die Säure mittels eines Tropftrichters auf Kochsalz tropfen oder in einem Kippschen Apparat auf Salmiakbrocken einwirken lässt — benutzt dieser neue Entwickelungsapparat nur Flüssigkeiten zur Darstellung des Salzsäuregases, nämlich konzentrierte Salz- und Schwefelsäure, eventuell letztere mit Anhydridzusatz.

Der Apparat besteht aus einem grösseren Rundkolben *V*, in dessen Hals von oben her zwei Tropftrichter *g* und *h* münden. Von diesen Tropftrichtern ist der eine mit konzentrierter Salzsäure, der andere mit konzentrierter Schwefelsäure beschickt, öffnet man die Hähne *l* und *m* bei Luftzutritt durch die Hähne *e* und *f*, so mischen sich die Säuren in dem Kolben *V*, die Schwefelsäure entzieht der Salzsäure das Wasser, sodass die letztere gasförmig ausgetrieben wird.




Bei der Entwickelung ist Hahn *p* geschlossen zu halten, während der Schwanzhahn *s* derartig gestellt wird, dass seine Querdurchbohrung das Rohr *u* mit dem nach den Waschflaschen führenden Teile *t* verbindet.

Ist der Kolben *V* schliesslich mit Flüssigkeit gefüllt, so ist die Entleerung höchst einfach. Die Hähne *l* und *m* werden geschlossen, Hahn *p* geöffnet und der Hahn *s* so gestellt, dass durch seine Schwanzbohrung das Innere des Kolben *V* mit der Aussenluft in Verbindung steht. Ein Ansaugen bei *r* bei vorgelegter Saugflasche z. B. durch Wasserstrahlpumpe entleert dann den Kolben durch das Rohr *q* sehr bequem und schnell. Die abgesaugte Säure kann nach geringem Anhydridzusatz wieder oben in den Schwefelsäuretrichter gefüllt werden.

An den Tropftrichtern befinden sich oben doppelt durchbohrte Hähne, die einerseits bei nicht in Tätigkeit befindlichem Apparat die konzentrierten Säuren von der Aussenluft abschliessen, andererseits durch den aufgesetzten Einfülltrichter

ein bequemes Nachfüllen gestatten, da die Luft durch den Ansatz *c(d)* aus der Kugel des Tropftrichters entweichen kann; gleichzeitig verhindern die bis an den Trichterrand emporgeführten Ansätze, dass bei gefüllten Tropftrichtern etwa noch in den Trichtern *a* und *b* befindliche Säure durch die zweite Bohrung der Hähne *e* und *f* auslaufen kann.

Der ganze Apparat befindet sich an einem passenden Stativ, der Kolben *V* ausserdem in einem Sandbad, wodurch die Möglichkeit gegeben ist durch Erwärmen die Mischung und Umsetzung der beiden Säuren zu vervollkommenen.

Die grossen Vorzüge des Apparates sind: die weitgehende, genaue und bequeme Regulierung des Gasstromes einmal durch schnelleres oder langsameres Zufliessenlassen der beiden Säuren, das andere Mal durch schwächeres oder stärkeres Erhitzen. Hierdurch wird die gute Ausnutzung des Ausgangmaterials gewährleistet im Gegensatz zur Darstellung des Chlorwasserstoffs aus festen Chloriden mittels Schwefelsäure, wobei ein grosser Teil des Chlorids nicht ausgenutzt wird, da es durch sich bildende Sulfatkrusten vor weiterer Berührung mit der Schwefelsäure geschützt wird, wodurch wiederum eine sehr ungleichmässige Entwickelung des Gases hervorgerufen wird.

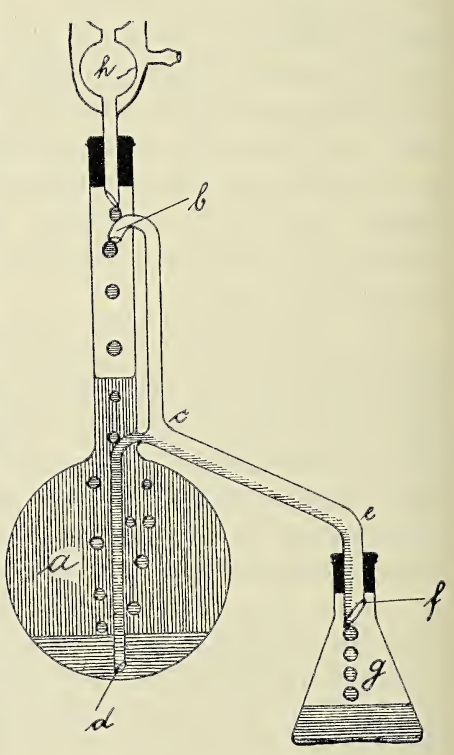
Die entstehenden Sulfatkrusten machen weiterhin die Neubeschickung der alten Apparate sehr umständlich, manchmal sogar nicht ungefährlich, wenn sie noch unverbrauchte Säure und Chlorid enthalten. Dagegen erfordert die Entleerung dieses neuen Apparates, bei dem das zurückbleibende Umsatzprodukt wieder eine Flüssigkeit nämlich verdünnte Schwefelsäure ist, das Umlegen weniger Hähne und ein kurzes Ansaugen, um den Apparat von neuem in Tätigkeit zu setzen. Davon abgesehen liefert der Apparat bei nicht grösseren Aussenmassen wie die bisher gebrauchten eine Gasmenge in Bezug auch auf Stärke und Dauer der Entwickelung, die bei weitem die Leistungen der anderen Apparate übertrifft.

Der Apparat ist als Gebrauchsmuster geschützt und wird von der Firma Otto E. Kobe, Marburg a. L. vertrieben.

Zweitens:

**Ein kontinuierlicher Extraktionsapparat.**

Dieser Apparat soll einem fühlbaren Mangel abhelfen. Wir haben wohl Einrichtungen, in denen wir eine schwerere Flüssigkeit durch eine leichte kontinuierlich extrahieren können — also z. B. eine wässerige Flüssigkeit durch Äther — aber umgekehrt für die fortdauernde Extraktion einer leichteren Flüssigkeit durch eine schwerere stehen uns überhaupt keine oder doch nur solche Apparate zur Verfügung die entweder in ihrem Aufbau sehr kompliziert und zerbrechlich sind oder in ihren Massen nur in solchen Grenzen gehalten werden können, dass sie für etwas grössere Flüssigkeitsmengen nicht in Betracht kommen. Anders dieser neue Apparat, wie aus der beistehenden Konstruktionszeichnung leicht zu ersehen ist.




Der grosse Kolben *a* stellt den eigentlichen Extraktor vor, er wird in seiner Grösse je nach der Menge des vorliegenden Extraktionsgutes gewählt. Dicht vom

Boden aus führt ein Rohr *dc* durch den Halsgrund in das nach dem mit Extraktionsmittel beschickten Kölbchen *g* abwärts führende Rohr *cef*. Dieses Rohr endet andererseits im oberen Kolbenhals bei *b*.

Um den Apparat in Betrieb zu setzen füllt man z. B. zunächst in den Extraktor *a* soviel Chloroform, dass die Oeffnung des Rohres *dc* durch dasselbe verschlossen ist, dann wird die zu extrahierende Flüssigkeit aufgefüllt und zwar soviel, dass durch ihren Druck das Chloroform in dem Rohr *dc* bis *c* emporgehoben wird. Hält man nun das ebenfalls mit Chloroform beschickte Kölbchen *g* im Sieden, so steigen die Chloroformdämpfe im Rohr *fecb* in die Höhe, verdichten sich dann in dem aufgesetzten Kühler *h* und tropfen von dort durch die zu extrahierende Flüssigkeit hindurch, sammeln sich auf dem Boden des Gefässes *a* und gleichzeitig wird durch das konstante Gewicht der über dem Chloroform stehenden Flüssigkeit die gleiche Menge Chloroform, wie von oben hinzutropft, durch Rohr *dc* nach Rohr *cef* und weiter nach dem Kölbchen *g* gedrückt und das Spiel wiederholt sich von neuem.

Der Apparat arbeitet selbsttätig ohne Pause, ist sehr widerstandsfähig und lässt sich selbst bei grossen Mengen Extraktionsgutes verwenden. Ein weiterer Vorzug ist die geringe Menge Extraktionsmittel, die gebraucht wird selbst bei ganz grossem Extraktor, nämlich nur die Menge in dem kleinen Extraktionskölbchen und die zum Verschluss nötige Menge am Boden des Extraktors. Zur Gewinnung des extrahierten Körpers ist schliesslich nur noch das Verjagen einer relativ kleinen Menge Lösungsmittel nötig.

Der Apparat ist zum Patent angemeldet.

Sodann berichtete Herr W. Bieber über:

## Weitere Untersuchungen über die Kondensation des Wasserdampfes. Wirkung des Sonnenlichtes auf die Atmosphäre. Die blaue Farbe des Himmels in ursächlichem Zusammenhang mit dieser Wirkung.

I.

In früheren Untersuchungen [1]) habe ich gezeigt, dass der in sauerstofthaltigen, mit Wasserdampf gesättigten Gasen beim Belichten mit ultraviolettem Licht auftretende blaue Nebel auf der Bildung von Wasserstoffsuperoxyd beruht. Auf drei verschiedenen Wegen war ich zu diesem Resultate gelangt.

Wenn Wasserstoffsuperoxyd der Träger dieses blauen Nebels ist, muss:

1. auch in reinem, mit Wasserdampf gesättigtem Sauerstoff beim Belichten mit ultraviolettem Licht diese Kondensation eintreten. — Es war in der Tat der Fall. Bei der Darstellung des Sauerstoffs (nach drei verschiedenen Methoden) war besonders darauf geachtet worden, dass eine Verunreinigung durch Stickstoff auf jeden Fall vermieden wurde, da von anderer Seite, wie ich bereits früher [1]) erwähnt habe, ein vorläufig „Y" genanntes Stickstoffoxyd für die Ursache dieser Kondensation gehalten wurde, ein Oxyd, welches bisher in seinem Verhalten nur spektralanalytisch genauer untersucht und definiert werden konnte. Aber gerade die Annahme eines Stickoxyds widerspricht den Anforderungen, die nach meinen Versuchen an den Träger des blauen Nebels zu stellen sind.

2. muss beim Belichten vollkommen trockenen Sauerstoffs und bei einer nach entsprechender Zeit erfolgenden nach-

1) W. Bieber, Diss. Marburg, 29. April 1911.

träglichen Sättigung mit Wasserdampf eine Kondensation ausbleiben, während einer Bildung von Stickstoffoxyden die Trockenheit des Gases nur förderlich sein könnte. Sie blieb aber aus.

3. muss die Gegenwart von $H_2O_2$ in den Nebeltröpfchen durch Reaktionen nachzuweisen sein. Zwei Reaktionen sprachen für die Anwesenheit von $H_2O_2$; das Ausbleiben der Titanschwefelsäurereaktion liess sich begründen. So viel von meinen früheren Versuchen, welche die bisher noch unentschiedene Streitfrage bezüglich des blauen Nebels zu gunsten von $H_2O_2$ entschieden.

Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen kommen zwei Bildungsarten von $H_2O_2$ vor. Einmal die als Wasserzersetzung, wenn ultraviolettes Licht auf Wasser vor allem im flüssigen Aggregatzustand einwirkt.[1]) Dann Wasserstoffsuperoxyd aufgefasst als Reduktionsprodukt des zweiatomigen Sauerstoffs, eine Bildungsweise, die sich auch bei der Synthese des $H_2O_2$ aus seinen Komponenten unter dem Einfluss stiller Entladung findet, wobei wahrscheinlich wird, dass die Verbrennung von Wasserstoff zu Wasser über $H_2O_2$ stattfindet. So wenigstens die Ansicht von Franz Fischer und M. Wolf,[2]) welche diese Synthese von $H_2O_2$ genauer verfolgt haben.

Bei der Bildung des blauen Nebels könnte, da kein $H_2$ zugegen ist, nur die erste dieser beiden Möglichkeiten in Betracht kommen. In diesem Falle wäre es jedoch nicht zu erklären, weshalb gerade dem Sauerstoff bei dessen Bildung eine so wichtige Rolle zufällt. In reinem Wasserdampf und in anderen reinen Gasen (die mit Wasserdampf gesättigt sind) bildet sich nämlich der blaue Nebel nicht aus.[3])

---

1) Kernbaum, C. r. 148 pag. 705, 1909 und C. r. 149 pag. 116 u. 273 1909. Thiele, Ber. d. D. Chem. Ges. 40 pag. 4914, 1907.

2) F. Fischer und M. Wolf, Chem. Ber. 44, pag. 2956, 1911.

3) W. Bieber, l. c. pag. 36.

Auch folgende Versuche sprechen dagegen, dass der blaue Nebel seine Entstehung einer Wasserzersetzung allein verdankt. Mit Wasserdampf gesättigter Sauerstoff wurde mit der Quecksilberlampe belichtet und durch eine auf — 79 gekühlte Röhre geleitet. Nach genügender Dauer des Versuches zeigte das Kondensationsprodukt $H_2O_2$-Reaktionen. Unter im übrigen gleichen Bedingungen wurden solche Versuche auch mit Stickstoff und Wasserstoff angestellt. Die Reaktionen blieben in diesen Fällen bei gleicher Belichtungsdauer aus. Mithin entstand das $H_2O_2$ nicht allein aus dem Wasserdampf. Es liegt demnach bei der Bildung des blauen Nebels (resp. von $H_2O_2$ in diesem Falle) eine direkte Oxydation des Wasserdampfes vor. Stellen wir folgende drei Gleichungen zusammen:

$$1)\ H_2 + O_2 = H_2O_2$$
$$2)\ (H_2O)_2 = H_2O_2 + H_2$$
$$3)\ H_2O + O = H_2O_2$$

so bedeutet 1) die direkte Synthese aus den Komponenten, 2) die Bildung im ultravioletten Licht bei dessen Einwirkung auf Wasser, flüssig,[1]) 3) bei dessen Wirkung auf Wasser, dampfförmig und in Gegenwart von Sauerstoff.

Zur Untersuchung auf $H_2O_2$ benutzte ich folgende drei Reaktionen:

1. Die bekannte Jodkaliumstärkelösung, die auf Zusatz von wenig $FeSO_4$-Lösung Blaufärbung gibt, wenn $H_2O_2$ vorliegt.

2. Eine Mischung einer Lösung von rotem Blutlaugensalz und einer solchen von Eisenchlorid. Die vorher rotbraune Lösung färbt sich in Gegenwart von $H_2O_2$ grün resp. blau, je nach der Konzentration der $H_2O_2$-Lösung. Die — am besten mit Salzsäure — schwach angesäuerte Lösung behält

---

1) Die Einwirkung kurzwelliger Strahlen auf Wasserdampf allein wurde bisher bezüglich der Bildung von $H_2O_2$ nicht näher untersucht. Vielleicht ist die evtl. gebildete Menge hier kleiner entsprechend der geringeren Polymerisation.

ihre Färbung bei. Andere Reduktionsmittel geben auch mit der angesäuerten Lösung die Reaktion.

3. Titanschwefelsäure, d. i. eine mit Wasser verdünnte Lösung von Titandioxyd in konz. Schwefelsäure. Diese Lösung färbt sich mit Spuren von $H_2O_2$ blassgelb; die Färbung ist jedoch dann nur in grosser Flüssigkeitsschicht erkennbar. — Das gleichzeitige Auftreten dieser drei Reaktionen und ihr Ausbleiben, wenn die für $H_2O_2$ charakteristischen Zusätze fehlen, wie bei 1., resp. vorhanden sind, wie bei 2., lässt eindeutig die Anwesenheit von Wasserstoffsuperoxyd erkennen.

Meine Kondensationsversuche wurden sämtlich mit der „Entspannungsmethode“ ausgeführt, da nur diese zur Beobachtung der spontanen Nebel in Betracht kommen konnte. Auf Veranlassung von Herrn Prof. Richarz ist Herr Leibfried bereits mit Untersuchungen beschäftigt, die zeigen sollen, ob auch die „Dampfstrahlmethode“ sich so ausbilden lässt, dass man die Uebersättigung in dem Dampfstrahl praktisch nicht nur genau bestimmen, sondern auch nach Belieben variieren kann.

Eine Beobachtung, die ich bei meinen Versuchen machte, möchte ich hier noch kurz erwähnen. Als Quellen für ultraviolettes Licht standen mir zwei Quecksilberlampen zur Verfügung. Eine solche mit doppelt gewundenen und eine mit einfachem Quarz-Quecksilberbogen. Beide Lampen wurden gespeist mit einem Strom von ca. 4 Ampère bei 80 Volt Beim Gebrauch bemerkte ich, dass die Lampe mit grossem Bogen, der mit kleinem Bogen in ihrer Wirkung nachstand. Ursache muss die bedeutend grössere Wärmeentwicklung des grossen Bogens gewesen sein, dessen Windungen dicht nebeneinander lagen. Die Wirkung der einfachen Lampe wurde noch besser, wenn, nachdem die Lampe einmal in Betrieb gesetzt war, die Stromintensität allmählich auf $1^1/_2$ bis 2 Ampère herabgedrückt wurde. Es ist bekannt, dass geschmolzener Quarz (Quarzglas) bedeutend mehr ultraviolette

Strahlung absorbiert als kristallisierter. Der Unterschied liegt hier in der Struktur; es scheint aber auch nach dem oben gesagten die Durchlässigkeit, wenigstens des Quarzglases, von der jeweiligen Temperatur abhängig zu sein, ein Zusammenhang, der noch genauer zu untersuchen wäre.

---

## II.

Auf die meteorologische Bedeutung der Wirkung des Lichtes auf die Kondensation des Wasserdampfes habe ich bereits früher hingewiesen. Hier seien noch die modifizierten und erweiterten Anschauungen, wie ich sie durch meine neueren Versuche und Ueberlegungen gewonnen habe, weiter ausgeführt.

Wenn man atmosphärische Luft durch Glaswolle oder Wattefilter leitet, entfernt man nicht nur suspendierte feste Teilchen, sondern auch hygroskopische Substanzen.[1]) So lassen sich z. B. die Tröpfchen des blauen Nebels in solchen Glaswolle-Filtern zurückhalten, auch dann, wenn sie bei geringem Feuchtigkeitsgehalt im durchgehenden Bogenlicht nicht direkt sichtbar sind. Hieraus ist zu schliessen, dass auch dann hygroskopische Substanzen Tröpfchen bilden, wenn sie in einem mit Wasserdampf nicht gesättigten Gase schweben; denn es ist nicht möglich, dass sie in Dampfform im Filter zurückbleiben. Auch in der atmosphärischen Luft sind solche Kerne zahlreich vorhanden; hier sind nämlich häufig dichte Nebel schon dann zu beobachten, wenn die relative Feuchtigkeit etwa erst 90 % beträgt, während bei der Kondensation an festen, nicht hygroskopischen Teilchen mindestens Sättigung vorhanden sein muss.[2]) Ausser den Kondensationskernen, die von der Erde aus vor allem in die unteren Schichten

1) W. Bieber, l. c. pag. 24.
2) ebenda, pag. 43.

der Atmosphäre gelangen, bilden sich in den höheren Schichten der Troposphäre,[1]) d. h. in dem Teil der Atmosphäre, in welchem Kondensation überhaupt möglich ist, Kerne unter dem Einfluss des ultravioletten Sonnenlichtes. Dieser Wirkung muss z. B. das in den atmosphärischen Niederschlägen nachgewiesene $H_2O_2$ grössten Teils seinen Ursprung verdanken.[2])

Weitere Bestandteile der Atmosphäre sind Ammoniak, Ammonium-Nitrit und Nitrat. — Schon lange ist bekannt,[3]) dass Ammoniak unter dem Einfluss von Induktionsfunken, hoher Temperatur und stiller elektrischer Entladung in Gegenwart von Sauerstoff zu Ammoniumnitrit bezw. — besonders bei Induktionsfunken — zu Ammoniumnitrat oxydiert werden kann. Von Berthelot und Gaudechon[4]) ist diese Reaktion auch im ultravioletten Licht festgestellt worden. Demnach wird auch in der Troposphäre unter der Wirkung kurzwelliger Strahlen das stets vorhandene Ammoniak oxydiert werden. Damit wären aber wesentliche Kondensationskerne als Produkte dieser Wirkung des Sonnenlichtes auf die Atmosphäre bezüglich ihres Ursprunges und ihres steten Vorkommens erklärt. Den Oxydationsvorgang selbst wird man sich wohl folgendermassen zu denken haben

$$NH_3 + O = NH_2OH$$

$$2\,(NH_2OH) + O = NH_4NO_2 + H_2O$$

Hydroxylamin

## III.

Der Wasserstoffgehalt der Atmosphäre nimmt bekanntlich mit der Höhe zu[1]) und wir werden in der Stratosphäre

1) A. Wegener, Physik. Zeitschr. 12, pag. 170 ff. 1911.

2) W. Bieber, l. c. pag. 43 und A. Wegener. Thermodynamik der Atmosphäre, pag. 242, Lpzg, 1911.

3) L. Carius, Liebigs Ann. 174, pag. 31, 1874.

4) D. Berthelot und Gaudechon, C. r. 152, pag. 522, 1911.

Schichten haben, in denen Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff in Mengen derselben Grössenordnung nebeneinander vorkommen. Nun kann sich Ammoniak aus seinen Komponenten bilden unter dem Einfluss besonders der stillen elektrischen Entladung[1]) (aber auch von Induktionsfunken und hoher Temperatur). Aus sonstigen Analogiefällen in der chemischen Wirkung der stillen Entladung und des ultravioletten Lichtes ist anzunehmen, dass auch unter dem Einfluss kurzwelliger Strahlung Ammoniak aus seinen Komponenten sich bilden kann. Eigene Versuche hierüber lassen noch keinen sicheren Schluss zu. Wahrscheinlich werden Menge der gesuchten Substanz und ihre hier in Betracht kommende Wirkung in demselben Verhältnis stehen, wie es bei dem blauen Nebel der Fall war. Auch in letzterem war ja der Nachweis von $H_2O_2$ in den Nebeltröpfchen äusserst schwierig und doch die Kondensations- resp. Licht-Wirkung eine so intensive. Ist jedoch diese Wirkung der kurzwelligen Strahlen vorhanden, dann ist in gewissen Schichten der Stratosphäre alles zur Bildung von Ammoniak gegeben. Da aber dann auch die oben auseinandergesetzte Oxydation eintreten muss, so wird auch in der Stratosphäre eine Bildung von Ammoniumnitrit eintreten, lediglich unter der Wirkung des Sonnenlichtes auf die genannten drei Gase. Sind nun aber solche feine, feste oder flüssige Partikelchen in hohen Schichten der Atmosphäre stets und in grosser Menge vorhanden, dann bedarf es keiner Erklärung der blauen Himmelsfarbe durch Lichtzerstreuung an den Gasmolekülen,[2]) sondern jene Teilchen werden — klein gegen die Wellenlänge der weniger brechbaren Strahlen — die brechbareren stärker zerstreuen als die übrigen, sodass eine blaue Farbe resultiert. Schwankungen in der Nuance wären dann hauptsächlich durch

---

1) Hollemann, Anorgan. Chemie, pag. 158. 7. Aufl. 1909.

2) Nach Rayleigh's Ansicht, siehe A. Wegener, Thermodynamik der Atmosphäre, pag. 249 ff., Lpzg. 1911.

die verschiedene Trübung der unteren Schichten zu erklären. Galissot[1]) kam kürzlich auf Grund seiner photometrischen Messungen auf dem Observatorium zu Lyon zu dem Ergebnis, dass nicht die Luftmoleküle, sondern bedeutend grössere Teilchen hier in Betracht zu ziehen seien. Diese Tatsache steht mit der Rayleigh'schen Erklärung der blauen Himmelsfarbe nicht in Einklang, insofern diese die Moleküle als Ursache ansieht. Die Lücke vermag obige Theorie auszufüllen, indem sie zugleich die Herkunft der lichtzerstreuenden Teilchen erklärt. Dass die Zahl jener Partikelchen nicht dauernd zunimmt und schliesslich zu einem ewigen Dunkel führt, ist durch des Eintreten eines Gleichgewichtszustandes verhindert, der sowohl in der Bildung von Ammoniak,[2]) wie in der von Ammoniumnitrit[3]) sich einstellt und bereits durch entsprechende Versuche nachgewiesen wurde.

Die experimentellen Belege für obige Anschauungen, soweit sie in der Atmosphäre selbst auszuführen sind, wurden bereits in Angriff genommen und bringen hoffentlich bald mit der gütigen Unterstützung des Hessischen Vereins für Luftschiffahrt neue Resultate.

---

Zu dem Vortrag von Herrn W. Bieber bemerkte Herr F. Richarz:

Durch die älteren Arbeiten des physikalischen Instituts über die Kondensation des Wasserdampfes war zwar die dichte weisse Nebelbildung für bestimmte Fälle mit Sicherheit auf Stickstoffoxyde zurückgeführt. Dass aber nach meiner Ansicht noch nicht alles aufgeklärt war in Bezug auf das Auftreten insbesondere des blauen Nebels, habe ich in meinen

---

1) Ch. Galissot, C. r. 8, 569, 1911.

2) Hollemann, Anorgan. Chemie, pag. 158, 7. Aufl. 1909.

3) Siehe pag. 83, Anm. 4.

Bemerkungen (diese Sitz.-Ber., 13. Mai 1908, pag. 81/82) bereits hervorgehoben. Herr K. Stuchtey hat dann in der Sitzung vom 4. Aug. 1910, Sitz.-Ber., pag. 78, zuerst über die Fortsetzung der Untersuchungen der Herren Barkow und Pringal durch Herrn Bieber berichtet und ebenfalls am Schlusse wieder auf die bevorstehende weitere Fortsetzung der Untersuchungen hingewiesen. Auch in seiner Dissertation vom 29. April 1911 hat Herr Bieber, nach dem prinzipiellen Nachweis der Bedeutung von Wasserstoffsuperoxyd für die Entstehung des blauen Nebels, selbst auf die sich noch weiter ergebenden Fragen hingewiesen, über deren Erledigung uns Herr Bieber soeben vorgetragen hat. Soweit nicht die Fragestellung und die Schlussfolgerungen schon damals von Herrn Bieber publiziert worden sind, hat er dieselben bereits im Laufe des vorigen Sommers mit mir besprochen und in Angriff genommen. Im übrigen war es von vorneherein für Jeden klar, dass nach der Reihe der Publikationen von R. v. Helmholtz und mir, von unserem verstorbenen ordentlichen Mitgliede Johannes Kiessling, von Barkow, Pringal, Stuchtey und den neuesten Untersuchungen von Herrn Bieber, die noch nicht erledigten Punkte hier im Institut von uns selbst in Angriff genommen worden seien. So arbeitet ausser Herrn W. Bieber auch jetzt noch Herr K. Leibfried über diese Fragen weiter.

---

In der der wissenschaftlichen Sitzung folgenden Wahlsitzung wurde Herr Hauptmann Kaufmann zum ausserordentlichen Mitgliede gewählt.

---

In den verschiedenen Sitzungen wurden noch folgende in den vorliegenden Sitzungsberichten nicht zum Abdruck gebrachte Vorträge gehalten.

Am 28. Juni sprach Herr Rubbel als Gast:

**Ueber Perlen und Perlenbildung in Süsswassermuscheln.**

Am 12. Juli hielt Herr Gürber folgende Vorträge:

a) **Warum gerinnt gekochte Milch nicht durch Lab.**
b) **Vacuolenbildung in roten Blutkörpern durch Extrakte aus Blutkörpern oder aus andern Zellen.**
c) **Endocelluläre Hämoglobinkristallisation.**

Am 8. November hielt Herr Krümmel den Vortrag:

**Die Ergebnisse der internationalen Meeresforschung.**

Ausserdem fand am 1. März 1911 eine gemeinsame Sitzung mit dem Kurhessischen Verein für Luftschiffahrt statt. In derselben sprach Herr Stuchtey:

**Ueber die Hochfahrt des Ballons „Marburg“ am 12. Dez. 1910 und Messungen mit dem Albedometer;** Herr Wegener: **Ueber Wolkenbildung.**

---

In der Wahlsitzung vom 1. März 1911 wurde Herr Dr. F. Herrmann, Assistent am geologischen Institut, zum ausserordentlichen Mitglied der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften gewählt.

---

## Aufgelegte Schriften:

Arkiv f. Kemi, Mineralogi etc. Svenska Vetenskaps-Akademien in Stockholm. Band III, Heft 4—5. Upsala 1910.

Arkiv f. Botanik. Svenska Vetenskaps-Akademien i. Stockholm. Band IX, Heft 3—4. Upsala 1910.

Arkiv f. Zoologi. Svenska Vetenskaps-Akademien in Stockholm. Band VI, Heft 2—4. Upsala 1910.

Bref och Skrifvelser v. Carl v. Linné. Herausg. v. d. Univers. Upsala. I. Abt., Teil 4. Stockholm 1910.

Acta Universitatis Lundensis. Lunds Universitets Aarskrift. V, 1909. Lund 1909/10.

Acta Universitatis Lundensis. Verfasser register. Lund 1906.

Bergens Museums Aarbog 1910. Avhandlingar og Aarsbereting. Bergen 1910.

Bulletin of the geological Institution University of Upsala. Band IX, Nr. 17—18, Band X, 19—10. Dazu Index for Volums I—X. Upsala 1910.

Finska Vetenskaps-Societetens. Forhandlingar 52 a und c. Helsingfors 1910.

Finska Vetenskaps-Societetens. Acta. Band 37, 3; Band 40, 4. Helsingfors 1910.

Beiträge zur Kenntnis Finnlands u. s. w. H. 68, 1. 2 Hefte. Helsingfors 1910.

Kaiserl. Universität Tokio. Mitteil. der medizin. Fakultät. Band IX, Heft 1. Tokio 1910.

Report of the twelfth Meeting. Australasian Association f. Advancement of Science. Brisbane 1910.

Parerganes Instituto geologico de Mexico. Tome III, Nr. 3—5. Mexico 1910.

Proceedings American Academy of Arts and Sciences. Band 45, Heft 16—20. Cambridge 1910.

Bulletin of the Museum of comparative Zoology. Harvard College. Band 52, Heft 16, 17. Cambridge 1910.

Memoirs of the Museum of comparative Zoology. Harvard College. Band 40, 1 und 41, 1 und 2. Cambridge 1910.

Bulletin of the New York public Library. Vol. XIV. 7—10. NewYork 1910.

The American Naturalist. Band 44, Nr. 524—526. New York 1910.

Bulletin of the Wiskonsin natural history Society Band 8, 2 und 3. Milwaukee 1910.

Bulletin of University of Nebraska. Serie XIV, Nr. 9. Lincoln, Nebraska 1909 nnd 1910.

University studies. Vol. IX, Nr. 4. Lincoln, Nebraska 1909 und 1910.

N. G. Elwert'sche Verlagsbuchhandlung, Marburg i. H.

# Das Rhöngebirge

nach Entstehung und Oberflächengestaltung (mit Hossfelds Höhenschichtenkarte)

von **Dr. Wilhelm Hartung.**

gr. 8°. 1912. VIII, 207 S. **Mk. 5.—.**

---

# Geologischer Führer

## durch die Umgegend von Cassel

von Rektor **C. Hessler**

und Professor Dr. **M. Blanckenhorn.**

Mit 18 Abbildungen, 1 Profil und 1 geolog. Karte.

Biegsam in Leinen gebunden **Mk. 2.—.**

---

# Die Waldecker Talsperre

auf Grund amtlichen Materials bearbeitet von Regierungsbaumeister **W. Soldan** und Rektor **C. Hessler.**

Mit 44 Abbildungen, 2 Kartenskizzen und 2 Plänen.

Preis nur **Mk. 1.—.**

# Lehrbuch der Zoologie

Begründet von **C. Claus**, neu bearbeitet von **Karl Grobben.**

8. (2. verb. Aufl. der Neubearbeitung) Auflage.

Mit 993 Figuren. **Mk. 18.—, gebunden Mk. 20.—.**

---

**Claus, C.**, *Beiträge zur Kenntnis der Ostracoden.* 1. Entwicklungsgeschichte von Cypris. Mit 2 Tafeln. —.80

— *Beobachtungen über Lernaeocera, Peniculus und Lernaea.* Mit 4 Tafeln. 2.—

— *Beobachtungen über die Organisation und Fortpflanzung von Leptodera Appendiculata.* Mit 3 Tafeln. 1.60

— *Die Copepoden-Fauna von Nizza.* Mit 5 Tafeln. 3.—

— *Die Cypris-ähnliche Larve (Puppe) der Cirripedien und ihre Verwandlung in das festsitzende Tier.* Mit 2 Tafeln. 1.20

**Kayser, E.**, *Die Fauna des Dalmanitensandsteins von Kleinlinden bei Giessen.* Mit 5 Lichtdruck-Tafeln. 2.—

**Koenen, A. von**, *Das Miocaen Nord-Deutschlands und seine Mollusken-Fauna.* Mit 3 Tafeln. 4.—

**Lotz, H.**, *Die Fauna des Massenkalks der Lindener Mark bei Giessen.* Mit 4 Lichtdruck-Tafeln. 3.—

**Wigand, A.**, *Flora von Hessen und Nassau.* II. Teil. Fundorts-Verzeichnis der in Hessen und Nassau beobachteten Samenpflanzen und Pteridophyten. Herausgegeben von *Fr. Meigen.* Mit einer Karte von Hessen-Nassau. 7.—

— *Der botanische Garten zu Marburg.* Mit 1 Plan. 1.—

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

BUREAU OF
AMERICAN ETHNOLOGY
JUL 16 1913
LIBRARY

---

Jahrgang 1912

---

Marburg
Kommissionsverlag der N. G. Elwert'schen Verlagsbuchhandlung
1913.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## Marburg

---

**Jahrgang 1912**

---

Marburg
Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch
1913.

# Inhalts-Angabe.

Herr *F. Richarz:* Über die das Brockengespenst umgebenden Beugungsringe . . . . . 1

Herr *A. Thiel:* Die Landoltsche Reaktion als Beispiel zur Demonstration der Grundlagen der chemischen Kinetik . . . . 11

Herr *F. Richarz:* Über die Stellung meiner eigenen Überlegungen, das Gesetz von Dulong und Petit betreffend, zu denen von Einstein . . . . . 37

Herr *K. André:* Über Kegeltextur in Sanden und Sandsteinen mit besonderer Berücksichtigung der Sandsteinkegel des oberen Unterdevon der Umgegend von Marburg . . . . . 45

Herr *A. Lohmann:* Das Elektretokardiogramm des Menschen bei direkter künstlicher Reizung des linken Ventrikels . . . . 52

Herr *F. Richarz:* Über Erweiterungen und Bestätigungen seiner Erklärung des Lichtmaximums beim Brockengespenst und um den Korbschatten eines Ballons . . . . . 57

Herr *K. Stuchtey:* Aufnahmen von hellen Ringen und Säulen um den Ballonschatten und deren künstliche Nachbildung . . . 59

Herr *A. Schwantke:* Eine neue Methode zur graphischen Darstellung von Gesteinsanalysen . . . . . 66

Herr *A. Thiel:* Die Anwendung neuerer Ergebnisse der Indikatorenforschung zu quantitativen Studien . . . . . 91

Herr *F. Richarz:* Neuberechnungen des mechanischen Wärmeäquivalentes auf Grund im hiesigen Institut ausgeführter Messungen . . . . . 145

Herr *A. Lohmann* u. *Ed. Müller:* Über Physiologie der Bronchialmuskulatur . . . . . 161

*Dieselben:* Über die Ursachen des raschen Todes und der hochgradigen Lungenblähung beim anaphylaktischen Shock . . 165

Herr *C. Leibfried* (als Gast): Neue Versuche über die in Luft durch Röntgenstrahlen erzeugten Nebelkerne . . . . . 169

Herr *Wegener:* Über die Horizontalverschiebungen der Kontinente 172

Herr *Lorenz* (als Gast): Phasenlehre und Metallographie . . . 172

Herr *M. B. Schmidt:* Über den Eisenstoffwechsel . . . . . 172

Herr *F. A. Schulze:* Demonstration einer merkwürdigen neuen Nachwirkungserscheinung . . . . . 172

*Derselbe:* Dichte und Elastizitätsmodul einiger Edelmetall-Legierungen . . . . . 172

Herr *E. Obst:* Versuch einer Morphologie der großen Ostafrikanischen Störungszone . . . . . 172

Aufgelegte Schriften Seite 10, 36, 56, 90.

# Verzeichnis der Mitglieder*)

(am Schluß des Jahres 1912).

## Ehrenmitglieder.

| | |
|---|---|
| *Retzius, Gustav,* Prof. emerit. der Anatomie, Stockholm | 18. 1. 99. |
| *Marchand, Felix,* Dr. med., o. Prof. d. path. Anat., Geh. Med.-Rat, Leipzig | 9. 1. 01. |
| *Hittorf, Wilhelm,* Dr phil., o. Prof. d. Physik, Geh. Reg.-Rat, Münster | 19. 11. 01. |
| *Graf Zeppelin,* Dr ing., Exzellenz, Friedrichshafen | 5. 8. 08. |
| *Mannkopff, Emil,* Dr. med., o. Prof. d. inn. Med., Geh. Med.-Rat | 12. 7. 11. |

## Einheimische Mitglieder.

### A. Ordentliche.

| | |
|---|---|
| *Ahlfeld, Friedrich,* Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie, Geh. Med.-Rat | 11. 7. 83. |
| *Bauer, Max,* Dr. phil., o. Prof. d. Mineralogie, Geh. Reg.-Rat | 11. 3. 85. |
| *v. Behring, Emil,* Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Wirkl. Geh. Rat | 15. 5. 95. |
| *Bonhoff, Heinrich,* Dr. med., ord. Prof. der Hygiene | 9. 3. 04. (8. 11. 99) |
| *Diels, Ludwig,* Dr. phil., a. o. Prof. der Botanik | 28. 6. 11. (28. 7. 09) |
| *Feussner, Wilhelm,* Dr. phil., a. o. Prof. der Physik | 14. 7. 81. (10. 6. 69) |
| *Gasser, Emil,* Dr. med., o. Prof. d. Anatomie, Geh. Med.-Rat | 27. 1. 88. (16. 7. 74) |

*) Die Daten bedeuten den Tag der Ernennung, die in Parenthese gesetzten Daten den Tag der Ernennung zum außerordentlichen Mitglied.

*Gürber, August,* Dr. med. et phil., o. Prof. d. Pharmakologie 28. 6. 11.
(9. 12. 08)
*Hensel, Kurt,* Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . . 10 12. 02.
*Kayser, Emanuel,* Dr. phil., o. Prof. der Geologie, Geh.
Reg.-Rat . . . . . 13. 1. 86.
*Korschelt, Eugen,* Dr. phil., o. Prof. der Zoologie, Geh. Rat 26. 7. 93.
*Kutscher, Friedrich,* Dr. med., a. o. Prof. der Physiologie 12. 2. 08.
(16. 2. 98)
*Matthes, Max,* Dr. med., o. Prof. d. inneren Med., Geh. Rat 28. 6. 11.
*Meyer Arthur,* Dr. phil., o. Prof. der Botanik . . . . . 4. 11. 91.
*Neumann, Ernst,* Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . 8. 5. 07.
(13. 12. 05)
*Ostmann, Paul,* Dr. med., Prof. der Otologie . . . . . 13. 11. 95.
*Rathke, Bernhard,* Dr. phil., o. Hon.-Prof. der Chemie . 14. 3. 84.
*Richarz, Franz,* Dr. phil., o. Prof. der Physik . . . . . 15. 5. 01.
*Römer, Paul,* Dr. med., a. o. Prof. der Hygiene . . . . 28. 6. 11.
(9. 2. 04)
*Schenck, Friedrich,* Dr. med., o. Prof. d. Physiol., Geh. Rat 15. 5. 01.
*Schmidt, Ernst,* Dr. phil., o. Prof. der pharm. Chemie,
Geh. Reg.-Rat . . . . . 11. 3. 85.
*Schmidt, Martin,* Dr. med., o. Prof. der path. Anatomie . 28. 6. 11.
*Schulze, Franz Arthur,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doz. d. Physik 5. 8. 08.
(31. 7. 01)
*Thiel, Alfred,* Dr. phil., a. o. Prof. der physik. Chemie . . 8. 5. 12.
(10. 5. 11)
*Tuczek, Franz,* Dr. med., o. Prof. der Psychiatrie, Geh.
Med.-Rat . . . . . 15. 5. 95.
(14. 3. 90)
*Zincke, Theodor,* Dr. phil., o. Prof. d. Chemie, Geh. Reg.-Rat 13. 1. 76.
*Zangemeister, Wilhelm,* Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie 28. 6. 11.

## B. Ausserordentliche.

*Andrée, Karl,* Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . 4. 2. 11.
*Berlin, Ernst,* Dr. phil., Assistent am physiol. Institut . . 28. 6. 11.
*Bruns, Oskar,* Dr. med., Priv.-Doz., Oberarzt d. med. Klinik 28. 6. 11.
*v. Dalwigk, Friedrich,* Dr. phil., Prof., Priv.-Dozent der
Mathematik . . . . . 9. 5. 00.
*Fischer, Guido,* Dr. med., Prof., Direktor d. Zahnklinik . . 28. 6. 11.
*Flade, Friedrich,* Dr. phil., Priv.-Doz. für Chemie . . . 4. 8. 10.
*Fries, Carl,* Dr. phil., Ateilungsvorsteher am chem. Institut 9. 3. 04.
*Göppert, Ernst,* Dr. med., a. o. Prof. d. Anatomie und
I. Prosektor . . . . . 4. 12. 12.

*Grüter, Wilhelm,* Dr. med., Priv.-Dozent, Assistent an der Augenklinik . . . . . 28. 6. 11.
*Harms, Wilhelm,* Dr. phil., Priv.-Dozent für Zoologie . . 7. 6. 10.
*Hellinger, Ernst,* Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . 12. 1. 10.
*Herrmann, F.,* Dr. phil., Priv.-Dozent, Assistent am geol. Institut . . . . . 1. 3. 11.
*Heyde,* Dr. med., Priv.-Doz., Assistent a. d. chirurg. Klinik 7. 6. 10.
*Hildebrand, Heinrich,* a. o. Professor der gerichtl. Medizin 14. 12. 04.
*Jahrmärker, Max,* Dr. med., Prof., Priv.-Dozent, Oberarzt der psychiatr. Klinik . . . . . 9. 2. 04.
*Kaufmann, Hauptmann* . . . . . 13. 12. 11.
*Keller, Oskar,* Dr. phil., Prof., Abteilungsvorsteher am pharm. Institut . . . . . 28. 6. 11.
*Krauss, Wilhelm,* Dr. med., Prof., Privat-Doz. der Augenheilkunde . . . . . 10. 7. 07.
*Lohmann, Alfred,* Dr. med., Prof., Priv.-Doz. d. Physiologie 8. 2. 05.
*Müller, Eduard,* Dr. med., a. o. Prof., Direktor der med. Poliklinik . . . . . 9. 2. 10.
*Obst, E.,* Dr. phil., Privatdozent f. Geographie . . . . . 13. 11. 12.
*Reissert, Arnold,* Dr. phil., Prof., Priv.-Doz. der Chemie . 11. 2. 03.
*Rieländer, August,* Dr. med., Prof., Privat-Dozent der Gynäkologie . . . . . 13. 6. 06.
*Rühl, Alfred,* Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . 28. 7. 09.
*Schenck, Martin,* Dr. med. et phil., Privat-Doz., Assistent am pharm. Institut . . . . . 28. 6. 11.
*Schwantke, Arthur,* Dr. phil., Priv.-Dozent, Assistent am mineral. Institut . . . . . 21. 6. 99.
*Siebert, Carl,* Dr. phil., Chemiker . . . . . 14. 5. 02.
*Stuchtey, Karl,* Dr. phil., Assistent am physik. Institut . . 9. 12. 08.
*Take, Emil,* Dr. phil., Priv.-Dozent, Assistent am physik. Institut . . . . . 9. 12. 08.
*Tönniges, Carl,* Dr. phil., Prof., Assist. am zoolog. Institut 16. 2. 98.
*Veit, Otto,* Dr. med., Priv.-Doz., II. Prosektor . . . . . 28. 7. 09.
*Wegener, Alfred,* Dr. phil., Priv.-Dozent . . . . . 28. 7. 09.

## Auswärtige Mitglieder.*)

*Ach, Narciss,* Dr. med. et phil., Professor der Philosophie, Königsberg . . . . . (8. 2. 05)

*) Die mit einem * bezeichneten sind korrespondierende, die sämtlichen übrigen ehemalige einheimische Mitglieder.

*Ackermann, Dankwart,* Dr. med., Prof., Privat-Dozent der Physiologie, Würzburg . . . . . (5. 8. 08)
*Aschoff, Ludwig,* o. Prof. der patholog. Anatomie, Freiburg i. Br. . . . . 17. 6. 03.
*Axenfeld, Theodor,* Dr. med., o. Prof. der Ophthalm., Freiburg i. Br. . . . . (15. 1, 96)
*Barth, Adolf,* Dr. med., o. Prof. der Otologie, Leipzig . . 4. 11. 91.
*Barth, Arthur,* Dr. med., Prof., Oberarzt, Danzig . . . (13. 11. 95)
*Böhm, Rud.,* Dr. med., o. Prof. der Pharm., Geh. Med.-Rat, Leipzig . . . . . 20. 5. 81.
*Borrmann, Robert,* Dr. med., Prof., Priv.-Dozent der path. Anatomie, Göttingen . . . . . (14. 5. 02)
*Brauer, August,* Dr. phil., Professor, Direktor des naturhistorischen Museums, Berlin . . . . . 17. 5. 99.
(17. 6. 96)
*Brauer, Ludolf,* Dr. med., o. Prof., Direktor d. med. Klinik in Hamburg-Eppendorf . . . . . (14. 12. 04)
*Braun, Ferdinand,* Dr. phil., o. Prof. der Physik, Straßburg (8. 2. 78)
*Brauns, Reinhard,* Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Bonn (27. 1 88.)
*Buchholz, Adolf,* Dr. med., Prof., Oberarzt, Hamburg . 8. 12. 97.
*Busz, Carl,* Dr. phil.. o. Prof. der Mineralogie, Münster . (19. 6. 95)
Dietrich, Theodor, Dr. phil., Prof., Geh. Reg.-Rat, Hannover (15. 1. 96)
*Drevermann, Fritz,* Dr. phil., Priv.-Dozent, Frankfurt . . (11. 2. 03)
*v. Drach, Alhard,* Dr. phil., Geheimrat, Cassel . . . . 11. 7. 66.
*Enderlen, Eugen,* Dr. med., o. Prof. d. Chirurgie, Würzburg 12. 2. 97.
*Falk, Ferdinand August,* Dr. med., a. o. Prof. d. Pharm., Kiel 28. 4. 75.
*Fraenkel, Carl,* Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Halle . . 4. 11. 91.
*Friedrich, Paul,* Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Rat Königsberg . . . . . 12. 2 08.
*Fuëter, Rudolf,* o. Prof. der Mathematik, Basel . . . . (3. 5. 07)
*Gadamer, Johannes,* Dr. phil., o. Prof. der pharmazeut. Chemie, Breslau . . . . . (9. 3. 98)
*Goebel, Carl,* Dr. phil., o. Prof. der Botanik, München . . 27. 1. 88.
*Haselhoff, Emil,* Dr. phil., Prof., Direktor der landw. Versuchsstation, Cassel . . . . . (11. 2. 03)
*Häcker, Rudolf,* Dr. med., Prof., Oberarzt d. chirurg. Klinik, Königsberg . . . . . (7. 6. 10)
*Heffter, Arthur,* Dr. phil. et med., o. Prof. der Pharmakologie, Berlin . . . . . 14. 11. 06.
*Heine, Leopold,* o. Prof. der Ophthalmologie, Kiel . . . (18. 1. 99)
*Hermann, Theodor,* Dr. phil., Hanau . . . . . (2. 7. 68)
*Hess, Carl,* Dr. med., o. Prof. der Ophthalmol., Würzburg 11. 11. 96.

*Hess, Otto,* Dr. med., Prof., Oberarzt, Posen . . . . . (25. 6. 02)
**Heusler, Fritz,* Dr. phil., Dillenburg . . . . . 8. 2. 05.
*Jung, Heinrich,* Dr. phil., Privat-Dozent der Mathematik, Oberlehrer, Hamburg . . . . . 13. 12. 05.
*v. Koenen, Adolf,* Dr. phil., o. Professor der Geologie, Geh. Berg-Rat, Göttingen . . . . . 28. 4. 75.
*Kossel, Albrecht,* Dr. med., o. Prof. d. Physiol., Geh. Rat, Heidelberg . . . . . 15. 5. 95.
*Krehl, Ludolf,* Dr. med., o. Prof. d.inn. Medizin, Heidelberg 8. 11. 99.
*Küster, Fr. Wilh.,* Dr. phil., o. Prof., Gutsbes., Müncheberg bei Berlin . . . . . (26. 7. 93)
*Küster, Ernst,* Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Reg.-Rat, Berlin . . . . . 4. 11. 91.
*Küttner, Hermann,* Dr. med., o. Prof. der Chirurg., Breslau 2. 8. 05.
*Loewi, Otto,* Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Graz (15. 5. 01)
*Lotz, Heinrich,* Dr. phil., Geologe, Berlin . . . . . (13. 12. 99)
*Meisenheimer, Johannes,* Dr. phil., a. o. Prof. d. Zoolog., Jena 5. 8. 08.
(16. 9. 98)
*Meyer, Hans,* Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Wien 11. 3. 85.
*v. Müller, Friedr.,* Dr. med., o. Prof. der inn. Med., München 26. 4. 98.
*Neide, Ernst,* Dr. phil., Allstedt, Großherzogtum Sachsen (13. 1. 04)
*Noll, Alfred,* Dr. med., a. o. Prof., Jena . . . . . (16. 2. 95)
*Oestreich, Carl,* Dr. phil., o. Prof. der Geographie, Utrecht (9. 3. 04)
*Opitz, Erich,* Dr. med., Prof., Dir. d. Frauenkl., Gießen . (13. 1. 04)
*Pfannkuch, Wilhelm,* Dr. med., prakt. Arzt, Cassel . . . (17. 1. 72)
*Pfeffer, Wilh.,* Dr. phil., o. Prof. d. Botanik, Geh. Hofrat, Leipzig . . . . . (27. 4. 71)
*Plate, Ludwig,* Dr. phil., o. Prof. der Zoologie, Jena . . (27. 1. 88)
*Plenge, Enriquez,* Dr. med., Heidelberg . . . . . (7. 3. 99)
*Ransom, Frederick,* Dr. med., Cambridge . . . . . (7. 3. 99)
**Rehn, Joh. Heinrich,* Dr. med., San.-Rat, Frankfurt a. M. 26. 11. 80.
*Rein, Johannes,* Dr. phil., o. Prof. der Geographie, Geh. Reg.-Rat, Bonn . . . . . 1. 12. 76.
*Ribbert, Hugo,* Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie, Bonn 20. 6. 00.
*Romberg, Ernst,* Dr. med., o. Prof. d. klin. Mediz., Tübingen 20. 5. 00.
*Rost, Eugen,* Dr. med., Regierungsrat, Berlin . . . . . (16. 2. 98)
*Rubner, Max,* Dr. med., o. Prof. der Physiol., Geh. Med.-Rat, Berlin . . . . . 13. 1. 86.
*Rumpf, Theodor,* Dr. med., Professor, Bonn . . . . . 14. 3. 90.
*Rupp, Erwin,* Dr. phil., a. o. Prof. f. Pharmazie, Königsberg (14. 12. 04)
*Ruppel, Wilhelm,* Dr. phil., Professor, Höchst . . . . . (18. 7. 00)
*Sauerbruch, Ferd.,* Dr. med., o. Prof. der Chiurgie, Zürich 7. 6. 10.

*Schaum, Carl,* Dr. phil., a. o. Prof. d. phys. Chemie, Leipzig 13. 12. 05.
*Schenck, Rudolf,* Dr. phil., o. Prof. d. phys. Chemie, Breslau (11. 8. 97)
*Schmidt-Rimpler, Hermann,* Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Halle . . . . . 15. 11. 71.
*Schöne, Georg,* Dr. med., Priv.-Doz. f. Chirurgie, Greifswald (7. 6. 10)
*Schottelius, Max,* Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Hofrat, Freiburg i. B. . . . . (11. 7. 79)
*Schottky, Friedrich,* Dr. phil., o. Prof. der Mathem., Berlin 15. 5. 95.
*Schridde, Hermann,* Dr. med., Prof. der pathol. Anatomie, Dortmund . . . . . (13. 12. 05)
*Schwenkenbecher, Alfred,* Dr. med., Prof., Direktor der med. Klinik, Frankfurt a. M. . . . . (13. 5. 08)
*Seddig, Max,* Dr. phil., Frankfurt . . . . . (17. 6. 03)
*Seemann, John,* Dr. med., Prof. der Physiologie, Cöln . . (5. 6. 02)
*Siemens, Friedrich,* Dr. med., Geh. Med.-Rat, Direktor der Landes-Irrenanstalt Lauenburg i. P. . . . . (19. 12. 79)
**Speck, Carl,* Dr. med., San.-Rat, Kreis-Physik., Dillenburg 5. 4. 71.
*Stoeckel, Walter,* Dr. med., o. Prof., Direktor der gynäkol. Klinik, Kiel . . . . . 5. 8. 08.
*Strahl, Hans,* Dr. med., o. Prof. der Anatomie, Gießen . . 27. 1. 88.
(14. 12. 80)
*Straub, Walther,* Dr. med., o. Prof. d. Pharmakol., Freiburg (13. 12. 05)
*Study, Eduard,* Dr. phil., o. Prof. der Mathematik, Bonn . (14. 3. 90)
*Thumb, Albert,* o. Prof. der indog. Sprachen, Straßburg . (14. 2. 06)
*Uthoff, Wilhelm,* Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Breslau . . . . . 4. 12. 91.
*Weber, Heinrich,* Dr. phil., o. Prof. d. Mathem., Straßburg 11. 3. 85.
*Wendel, Walther,* Dr. med., Prof., Direktor des städtischen Krankenhauses, Magdeburg-Sudenburg . . . . . (12. 2. 02)
*Wernicke, Erich,* Dr. med., Prof., Direktor des hygienischen Instituts in Posen . . . . . 16. 2. 98.
(10. 2. 97)

## Der Vorstand.

*E. Korschelt,* Vorsitzender. *Fr. Kutscher,* ständiger Schriftführer.

### Engerer Ausschuss.

*F. Richarz,* stellvertr. Vorsitzender. *E. Neumann, F. Schenck.*

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 1 Januar 1912


In der Sitzung vom 10. Januar 1912 trug Herr K. Stuchtey folgende Mitteilung von F. Richarz vor:

### Ueber die das Brockengespenst umgebenden Beugungsringe.

In der Sitzung der Gesellschaft vom 12. Dezember 1906 (Sitz.-Ber., pag. 173) habe ich über Beobachtungen des künstlichen Brockengespenstes berichtet. Unter Brockengespenst versteht man nach J. M. Pernter (Meteorologische Optik, Wien 1906, Bd. 3, S. 405) den in oder auf Nebeln erscheinenden Schatten des Beobachters ohne Rücksicht auf das etwa gleichzeitige Auftreten von farbigen Kreisen um den Schatten. Meine damaligen Auseinandersetzungen sind ausführlicher publiziert worden in der Met. Ztschrft., Jan. 1908, pag. 19. Den Ueberlegungen über die scheinbare Grösse jenes Schattens auf einer Wolkenwand wäre nur noch hinzuzufügen, dass Kernschatten und Halbschatten zusammengenommen ein Bild ergeben, dessen Begrenzungen vom Auge in eine gewisse Gegend des Halbschattens verlegt werden, an der die relative Helligkeitszunahme von innen nach aussen am grössten ist.

In Anknüpfung an die Beobachtungen des künstlichen Brockengespenstes habe ich damals auch die bisherigen Erklärungen der farbigen Beugungsringe, welche manchmal, nämlich bei homogenem Nebel, den Kopfschatten umgeben,

einer kritischen Betrachtung unterzogen. Zur Erklärung der Beugungsringe muss nämlich zunächst angenommen werden, dass das Licht, welches in das Innere des Nebels eingedrungen ist, teilweise wieder aus demselben zurückgeworfen wird und auf diesem innerhalb des Nebels zurückgelegten Wege Beugung an den passierten Tröpfchen erleidet. Nun kommt aber aus jeder Richtung her Licht von dem Nebel zum Beobachter zurück und um jede Stelle des beleuchteten Nebels herum müssten sich daher Beugungsringe ausbilden, die sich übereinander lagern. Insgesamt könnten diese daher infolge ihrer Uebereinanderlagerung nicht sichtbar werden, wenn nicht eine Richtung in Bezug auf die Intensität des aus dem Nebel zurückgeworfenen Lichtes eine bevorzugte ist. Gemäss den Beobachtungen muss diese Richtung intensivster Reflexion dieselbe sein, in welcher das Licht in den Nebel eindringt; denn die beobachteten Beugungsringe umgeben den eigenen Kopfschatten als Mittelpunkt. Wie aber dieses Maximum zustande kam, darüber hatte man früher entweder überhaupt nicht nachgedacht, oder hatte stillschweigend die falsche Annahme gemacht, dass ein einzelner Tropfen für die reflektierten Strahlen ein Maximum der Intensität in derjenigen Richtung ergebe, welche mit der Richtung des auffallenden Lichtes übereinstimmt. Die Irrigkeit dieser Annahme habe ich damals nachgewiesen.

Ich hatte nun bei meinen früheren Ueberlegungen geglaubt, eine andere Erklärung des betr. Intensitätsmaximums für das vom Nebel reflektierte Licht geben zu können. Die damals von mir gegebene Erklärung, welche auf einer Uebertragung des Lambert'schen Emissionsgesetzes auf den reflektierenden Nebel beruht, muss auch zweifellos zulässig sein für diejenigen Fälle, wo das Brockengespenst im weiteren Sinne bei kontinuierlich bis zum Beobachter hin erstreckten Nebel sich bildet, oder an einer Nebelwand, die von den Lichtstrahlen senkrecht getroffen wird. Der erstere Fall lag z. B. bei den damals beschriebenen Beobachtungen des künst-

lichen Brockengespenstes vor. Der letztere Fall entspricht Abbildungen, wie sie meist von dem Brockengespenst gegeben werden, in denen der Schatten des Beobachters bei ganz niedrigem Sonnenstande auf eine vertikale Wolkenwand entworfen wird.

Die Voraussetzungen meiner früheren Erklärung würden ebenfalls zutreffen bei den Gegendämmerungen, auf die ich in der ausführlichen Publikation in der Met. Ztschrft. hingewiesen habe. Und sie würden bezüglich senkrechter Reflexion auch erfüllt sein, bei der experimentellen Nachahmung der Beugungsringe um den Kopfschatten des Brockengespenstes vermittelst einer mit Lykopodiumsporen bestäubten Glasplatte.

Durch die häufigen Beobachtungen bei Ballonfahrten ist nun mittlerweile eine andere Form des „Brockengespenstes“ oft verfolgt worden, nämlich der von der Sonne entworfene Schatten des Ballons, insbesondere des Korbes, auf eine tiefer gelegene Wolkengrenze. Auch hierbei zeigt sich der Korbschatten häufig von farbigen Beugungsringen umgeben. Auf der Tauffahrt des Ballons „Marburg“ des Hessischen Vereins für Luftschiffahrt gelang es Herrn Alfred Wegener sogar eine photographische Aufnahme der Beugungsringe um den Korbschatten auszuführen. (Publiziert mit Abbildung im Jahrbuch des Deutschen Luftfahrer-Verbandes, Berlin 1911 bei Braunbeck, pag. 74 der Abhandlungen.) Da nun in diesen Fällen die horizontale Oberfläche der Wolkenschicht keineswegs senkrecht steht auf der übereinstimmenden Richtung von auffallenden Sonnenstrahlen und Blickrichtung, konnte meine frühere Erklärung für diese und ähnliche Fälle nicht zutreffen, und ich habe seitdem diese Frage wieder aufs neue ins Auge gefasst und glaube nunmehr eine allgemein genügende Erklärung gefunden zu haben.

Beim Eindringen des Lichtes in das Innere des Nebels wirken die vom Licht getroffenen Wassertröpfchen teils mit der Vorderseite, teils mit der Rückseite zurückwerfend. Ein Teil der Strahlen geht nach Brechung als Bündel, das nach

Passieren einer kurzen Brennweite stark divergiert, hindurch, sodass hinter jedem Tropfen ein Schattenzylinder entsteht, gerade so, als ob er undurchsichtig wäre. In dieser Weise werden die vordersten vom Licht getroffenen Nebelteilchen die in der Beleuchtungsrichtung rückwärts gelegenen be-

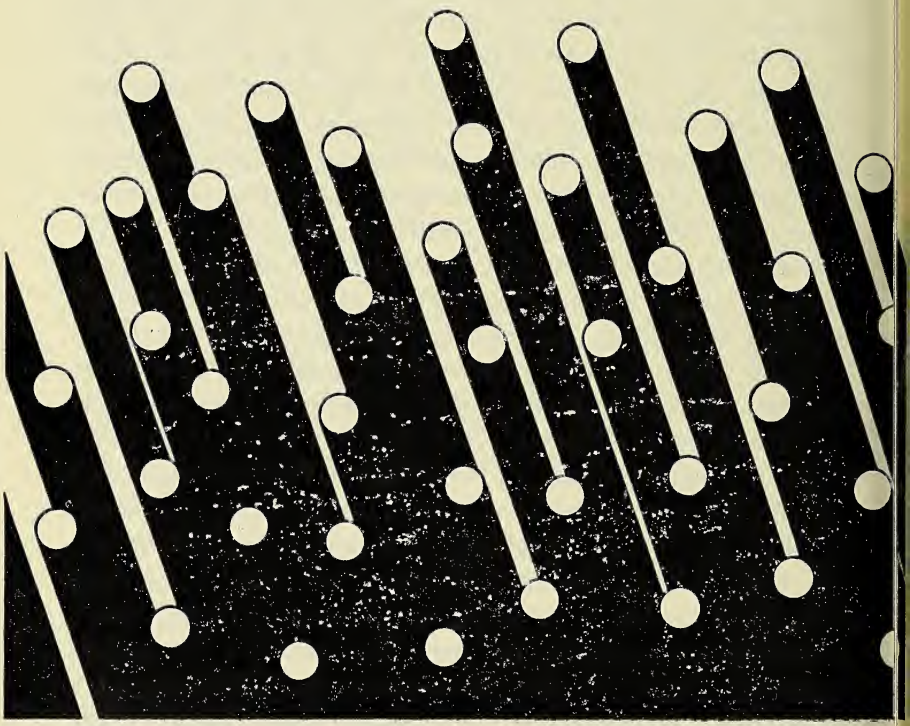


Fig. 1.

schatten; diejenigen tiefer gelegenen Teilchen, welche durch die Lücken zwischen den vorderen hindurch noch Licht empfangen, werden wiederum andere weiter rückwärts gelegene beschatten, und in dieser Weise geschieht das Eindringen des Lichtes in die Tiefe des Nebels hinein, wie Fig. 1 veranschaulicht, wobei die Vorderseiten der beleuchteten Nebel-

teilchen ihrerseits das Licht wieder zurückwerfen. [Auch die Rückseiten tun dies; der dadurch entstehende Regenbogen kommt hier nicht in Betracht.] Das Zurückwerfen des Lichtes geschieht von der Vorderseite jedes einzelnen vom Licht voll getroffenen Tröpfchens aus mit einer nach allen Richtungen hin gleichen Intensität. (Siehe meine Berechnung a. a. O. Met. Ztschrft., pag. 23.) Es würde also in Bezug auf die Reflexion an einem Tröpfchen kein Intensitätsunterschied auftreten in Bezug auf die Richtung, von der aus man den beleuchteten Nebel betrachtet. Aus folgendem Grunde aber tritt ein solcher Unterschied sehr hochgradig auf. Nur wenn die Blickrichtung mit der Richtung des einfallenden Lichtes übereinstimmt, treten für das von einem Tröpfchen reflektierte Licht keine anderen Tröpfchen hindernd in den Weg. Je mehr die Blickrichtung von der Richtung des einfallenden Lichtes abweicht, um so mehr werden weiter vorne gelegene Teilchen das von den tieferen reflektierte Licht verdecken. Auch hier gilt wieder wie oben die Ueberlegung, dass die Tröpfchen, wenn sie auch nicht undurchsichtig sind, doch in Bezug auf die Abblendung gerade so wirken, als ob sie undurchsichtig wären. Infolge dieses Verdeckens des aus dem Inneren reflektierten Lichtes durch die mehr nach vorne gelegenen Teilchen muss daher für das insgesamt von einer Nebelschicht reflektierte Licht ein Maximum der Intensität resultieren in derjenigen Richtung, welche mit der des auffallenden Lichtes übereinstimmt und die Intensität muss schnell fortschreitend abnehmen, je weniger diese Uebereinstimmung vorhanden ist. Dabei ist die Lage der Oberfläche der Wolkenschicht relativ zu der Richtung des auffallenden Lichtes durchaus nebensächlich, sodass diese Erklärung auch für das bei Ballonfahrten auf horizontalen Wolken beobachtete Auftreten der Beugungsringe um den Korbschatten herum herangezogen werden kann.

Die Beugungsringe um den Korbschatten können bei einer Wolke nur dann auftreten, wenn die Nebeltröpfchen

gleiche, oder nahezu gleiche Grösse haben, wenn also der Nebel nach Kiesslings Bezeichnung homogen ist. Wenn dagegen die Grösse der einzelnen Tröpfchen erheblich verschieden ist, können Beugungsringe nicht entstehen. Nach dem Vorstehenden aber würde auch dann ein Maximum der Intensität vorhanden sein müssen für dasjenige Licht, welches vom Nebel in der Richtung des auftreffenden Lichtes zurückgeworfen wird. In Bezug auf die Beobachtbarkeit dieses Maximums der Helligkeit ist darauf aufmerksam zu machen, dass an seine Stelle der Korbschatten fällt. Wenn daher das Maximum ein enges und starkes ist, kann es vom Korbschatten verdeckt werden und der Beobachtung entgehen. Ist dagegen das Maximum ein weniger scharfes und breites, so würde bei Ballonfahrten um den Korbschatten herum sich noch ein peripherer Teil des Maximums der Helligkeit zeigen, auch wenn keine Beugungsringe auftreten. Diese Erscheinung ist in der Tat auf der Fahrt des Ballons „Marburg“ am 20. Oktober vorigen Jahres von Herrn Dr. W. Bieber und wahrscheinlich auch schon bei anderen sonstigen Fahrten beobachtet worden.

Die bekannteste und in ihrer Erklärung über allen Zweifel erhabene Erscheinung von Beugungsringen überhaupt in der Atmosphäre sind die Höfe um Sonne und Mond. Die bei ihnen experimentell bestimmten Durchmesser der Beugungsringe erlauben die Tröpfchengrösse zu berechnen und ergeben bei Berechnung aus den verschiedenen Ringen einer und derselben Erscheinung dieselbe Tröpfchengrösse und damit eine Bestätigung der Theorie. Kürzlich hat Herr Dr. K. Stuchtey auch bei einer Ballonfahrt des Hessischen Vereins für Luftschiffahrt einen aus mehreren Ringen bestehenden Hof um die Sonne photographiert und aus der Ausmessung der Platte ebenfalls wieder Bestätigung der Theorie gefunden. Diese Beobachtung soll demnächst in der Meteorologischen Zeitschrift publiziert werden. Die Theorie ist in diesen Fällen relativ einfach. Aus der Richtung der seitlich von

der Lichtquelle gelegenen Tröpfchen kommt Licht nur durch Beugung ins Auge und es ist eine verhältnismässig einfache Ueberlegung, unter welchem Winkel Licht einer bestimmten Wellenlänge von der Seite her zum Beobachter hin abgebeugt wird. Die Anwendung dieser einfachen mathematischen Theorie auf die Beugungsringe beim Brockengespenst hat zu Widersprüchen in Bezug auf die berechnete Tropfengrösse bei Benutzung verschiedener Ringe einer und derselben Erscheinung geführt. Dies hat besonders neuerdings Herr A. Wegener in seiner erwähnten Abhandlung im Jahrbuch des Deutschen Luftfahrer-Verbandes 1911, pag. 77 hervorgehoben. Wenn man das Prinzip der von mir zuvor gegebenen Erklärung rechnerisch durchführen will, so ergibt sich in der Tat, dass ganz andere Verhältnisse vorliegen, als bei den Höfen um Sonne und Mond. In letzteren Fällen ist direktes ungebeugtes Licht nur in der Mitte der Erscheinung vorhanden. Bei einer reflektierenden Nebelschicht würde man sich die einfachsten theoretischen Bedingungen in der Weise fingieren können, dass man annimmt, die Nebelschicht reflektiere aus dem Inneren heraus Licht ausschliesslich in derselben Richtung, in welcher es einfällt. Das aus der Richtung *D* blickende Auge — in umstehender Figur 2 — würde daher nur von der Mitte *M* der Erscheinung her ungebeugtes Licht erhalten. Es würde aber gebeugtes Licht *G* auch erhalten von irgend einem seitlich gelegenen Teilchen *S*. Es ist aus der Figur ersichtlich, dass bei der vereinfachten Annahme die Erscheinung ganz dieselbe sein müsste, als ob in der verlängerten Blickrichtung *DM* jenseits des Nebels eine überaus weit entfernte Lichtquelle ihre Strahlen durch den Nebel hindurch zum Beobachter sende, wie bei den Höfen. In Wirklichkeit ist nun zwar bei einer reflektierenden Nebelwand die Intensität des direkten ungebeugten Lichtes in der Mitte ein Maximum, ist aber von der Mitte an abfallend auch noch an den seitlich gelegenen Stellen keineswegs Null. Das Gesetz, nach dem die Intensität des reflektierten Lichtes

für die seitlichen Richtungen abnimmt, wird sich vielleicht ergeben aus der Seeliger'schen Theorie der Beleuchtung staubförmiger Körper. Seeliger leitet diese Theorie ab, um aus ihr die eigentümlichen Intensitätsverhältnisse des von

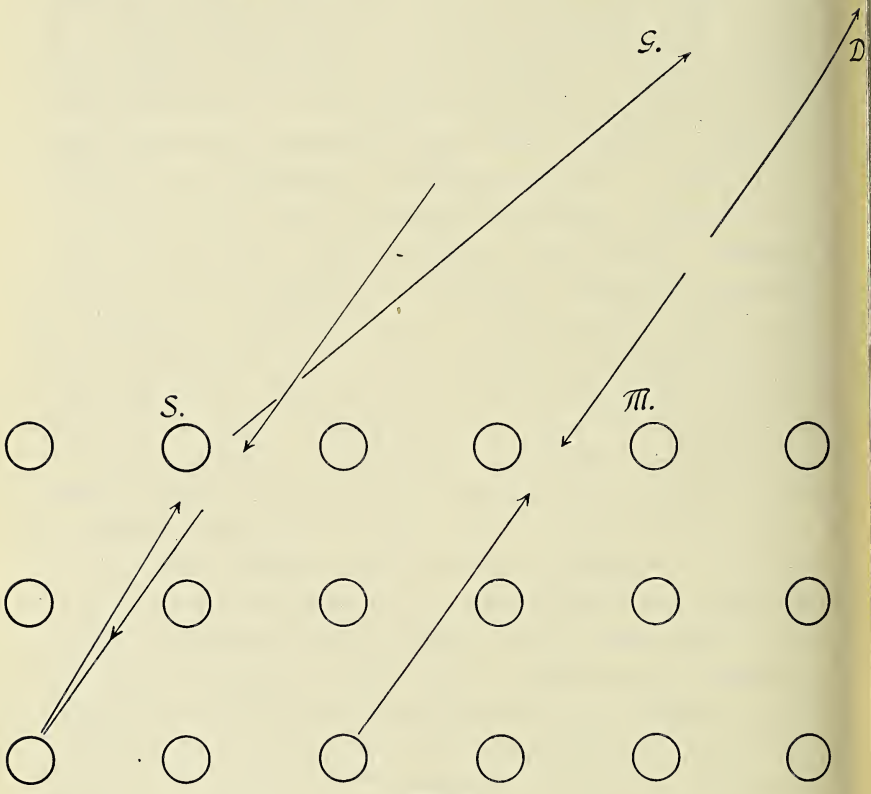



Fig. 2.

den Saturnringen reflektierten Lichtes zu erklären. Eine Theorie der Beugungserscheinungen an reflektierenden Nebelwänden wird eine Uebereinanderlagerung der Beugungserscheiungen des aus allen Richtungen aus dem Nebel herausgestrahlten Lichtes enthalten müssen, von denen aber die Intensität der in der Einfallsrichtung zurückgeworfenen

Strahlen ein Maximum ist. Dazu kommen noch folgende wesentlichen Unterschiede gegenüber den Voraussetzungen bei der Theorie der Höfe. Letztere Theorie kann annehmen, dass die beugenden Teilchen sich in einer Schicht befinden, die gegenüber den Abständen von Lichtquelle und Beobachter sehr dünn ist. Dagegen bei den Beugungserscheinungen des aus dem Nebel herausdringenden reflektierten Lichtes würden die einen Nebelteilchen Lichtquelle und die anderen Ursache der Beugung sein. Der Abstand zwischen Lichtquelle und beugenden Teilchen kann also keineswegs als gross angesehen werden. Ferner tritt in den diffus reflektierenden Nebelschichten Beugung ein sowohl beim Eindringen des Lichtes, als auch nach der Reflexion bei der Rückkehr der Strahlen. Vielleicht lassen sich die aus diesen Komplikationen entspringenden Erschwerungen der Theorie mathematisch überwinden und ergeben dann hoffentlich die noch fehlende Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Beugungsringen auch bei der Reflexion an Nebelwänden.

Aufgelegte Schriften:

Proceedings Amerik. Ac. of Arts and Sc. Bd. 45. Nr. 4—7. Boston 1910
Bureau Amer. Ethnology Bull. 38, 39, 48. Washington 1909.
American Naturalist. Bd. 44. Nr. 518—520. New York 1910.
Bull. of the scicutific Labor. Denison University. Vol. 14. Granville 1909.
Smithsonian miscellaneous Coll. Quarterly issuc. Vol. 5, Part. 4. Washington 1910. Part. of Vol. 54. Washington 1909.
Smithsonian Institution. Annual Raport 1908. Washington 1909.
Bull. New York public library XIV, 1—3. New York 1910.
Bull. Illinois state laboratory. Vol. VII. 10. Urbana 1908. Vol. VIII, 2—3 Urbana 1909.
Field Columbian Mus. Publ. 136. Chicago 1909.
Journal Elisha Mitchell sc. Soc. Vol. XXV, 3 u. 4. Chapel Hill 1909.
University Geol. Survey of Kansas. Vol. IX. Topeka 1908.
Missouri botanical garden. 20. Bericht. St. Louis 1909.
Canada Dep. of mines. Nr. 1059. Ottawa 1909.
Archivos do real Instituto Bacteriologico Camara Pestana. Tome III, fasc. I. Lissabon 1910.
Les Mathématiques en Portugal. par Antonio Cabreira.
Università Perugia Annali facolta medicina. Serie III, Bd. 7, 3 u. 4. 1908. Bd. 8, 1. u. 2. 1909.
Rendiconto Acad. Science Fisiche e Matematiche. Serie 3, Bd. XV, 8—12. Neapel 1909.
Atti reale Acad. dei Lincei. Bd. XIX, Nr. 2—7. Rom 1910.
Atti Societa Toscana Science Nat. Bd. XII, 2 Hefte. Pisa 1899—01. Bd. XVIII, Nr. 5 u. 6. Pisa 1909.
Mitteilungen Med. Fak. Univ. Tokyo. Bd. VIII, Nr. 3. Tokyo 1909.
Zeitschrift f. Naturwiss. Halle a. S. 81. Bd. (1909). Heft 5 u. 6. Leipzig 1909.
Jahrbücher d. nassauischen Vereins f. Naturkunde. 63 Jahrg. Wiesbaden 1910.
Verhandlungen d. k. k. geologischen Reichsanstalt. Jahrg. 1910, Heft 9 bis 12. Wien 1910.
Sitzungsbericht d. Kgl. bayr. Akad. d. Wiss. Math. phys. Klasse. Jahrg. 1910, Abh. 5 bis 8, 9. München 1910.
Abhandl. d. Kgl. bayr. Akad. d. Wiss. Math. phys. Klasse. 24. Bd. dritte Abt. und 25. Bd. 4. Abhandl. München 1910.
Gedächtnisrede f. Carl v. Voit, Beilage zu d. Abh. d. Kgl. bayr. Akad. d. Wiss. München 1910.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 2 Februar 1912


In der Sitzung vom 14. Februar 1912 hielt Herr A. Thiel den Vortrag:

### Die Landoltsche Reaktion als Beispiel zur Demonstration der Grundlagen der chemischen Kinetik.

(Mit Experimenten.)[1])

Von den Teilgebieten der physikalischen Chemie ist das der chemischen Mechanik eins der wichtigsten. Es gehört dazu die Lehre vom chemischen Gleichgewicht (chemische Statik) und die von der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit (chemische Dynamik oder Kinetik). Die hierunter fallenden Erscheinungen haben neben einer grossen theoretischen auch erhebliche praktische Bedeutung; denn die Kenntnis des Reaktionsverlaufes chemischer Prozesse und der Abhängigkeit ihrer Geschwindigkeit und Richtung von den Versuchsbedingungen sowie insbesondere von der Gegenwart fremder Stoffe (Katalyse) ist höchst wichtig für die Ausarbeitung rationeller synthetischer und analytischer Methoden.

Versuche, die zur Demonstration des bei chemischen Reaktionen zu beobachtenden gesetzmässigen Zusammenhanges zwischen der Reaktionsgeschwindigkeit und den Ver-

1) In abgekürzter Form vorgetragen.

suchsbedingungen dienen können, beanspruchen somit ein gewisses allgemeineres Interesse. Zur objektiven Vorführung vor einem grösseren Hörerkreise eignen sich jedoch nur sehr wenige Beispiele; unter ihnen ragt die Landoltsche Reaktion durch ihre Anschaulichkeit und die Schärfe der Erscheinungen hervor. Gleichzeitig bietet sie aber auch ein Beispiel für die Erfahrung, dass häufig sehr einfach aussehende Fälle sich bei näherer Betrachtung als äusserst kompliziert erweisen.

H. Landolt fand vor etwa 25 Jahren [1]), dass die Oxydation der schwefligen Säure durch Jodsäure eine „Zeitreaktion" ist, d. h. dass sie nicht momentan verläuft, wie viele Reaktionen in wässeriger Lösung (die einfachen, echten Ionenreaktionen), sondern zu ihrem Ablaufe messbare Zeiten beansprucht. Er stellte durch eingehende Untersuchungen das Vorhandensein eines gesetzmässigen Zusammenhanges zwischen der Reaktionszeit und den Reaktionsbedingungen fest. In Uebereinstimmung mit den Forderungen des Massenwirkungsgesetzes steigt die Reaktionsgeschwindigkeit (und fällt damit die Reaktionszeit) bei Erhöhung der Konzentration der Reaktionsteilnehmer; auch Temperaturerhöhung bewirkt eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit entsprechend der allgemeinen Erfahrung. Die Gegenwart fremder Säuren ist von sehr ausgesprochenem Einflusse auf die Schnelligkeit des Reaktionsverlaufes; die individuelle Wirkung der einzelnen Säuren ordnet sich nach der Reihenfolge ihrer Stärke und lässt den Schluss zu, dass im Sinne der Ionentheorie der gespaltene Anteil d. h. das Wasserstoffion die beobachtete Beschleunigung der Reaktion hervorruft. Diese Wirkung ist als Katalyse aufgefasst worden, womit allein freilich für die Erklärung der sehr auffallenden und z. T. unerwarteten Erscheinungen nicht viel gewonnen ist.

---

1) Berl. Akad. Ber. **1886**, 1007; **1887**, 21; Ber. d. Dtsch. Chem. Ges. **19**, 1317 (1886).

Ueber Versuche, in das noch ungenügend geklärte Gebiet Ordnung zu bringen, wird weiter unten berichtet werden.

Es soll nun an der Landoltschen Reaktion zunächst demonstriert werden, in welchem Sinne sich die Konzentration der Reagentien, die Temperatur und die Gegenwart von „Katalysatoren“ beim Reaktionsverlaufe geltend machen.

Die Hauptreaktion erfolgt zwischen der Jodsäure und der schwefligen Säure und lässt sich durch die Reaktionsgleichung ausdrücken:

$$HJO_3 + 3H_2SO_3 = HJ + 3H_2SO_4.$$

Wenn alle schweflige Säure oxydiert ist, wirkt die im Ueberschusse anzuwendende Jodsäure auf den entstandenen Jodwasserstoff ein und setzt nach der Gleichung

$$HJO_3 + 5HJ = 3J_2 + 3H_2O$$

Jod in Freiheit, dessen Auftreten schon in geringen Spuren an einer Bläuung der Flüssigkeit erkannt werden kann, wenn man dem Reaktionsgemisch von vornherein Stärkelösung zusetzt (Bildung der intensiv blauen Jodstärke). Dieser Umschlag in Blau, der namentlich bei schnellem Reaktionsverlaufe sehr scharf und überraschend eintritt, ist dann also das Zeichen für den Verbrauch der schwefligen Säure oder, was dasselbe ist, für die Beendigung der Hauptreaktion. Je früher bei Anwendung derselben Menge von schwefliger Säure die Bläuung eintritt, desto grösser ist die Geschwindigkeit der Hauptreaktion. Ein Mass für letztere liefert mithin die Beobachtung der Zeit, die von der Vermischung der Reagentien bis zum Umschlage in Blau vergeht. Die reziproken Reaktionszeiten können geradezu als relative Reaktionsgeschwindigkeiten angesehen werden, wenn von gleichen Mengen schwefliger Säure ausgegangen wird, allerdings nur unter der (sicherlich wenigstens bei wechselnden Volum- und Temperaturverhältnissen nicht streng erfüllten) Voraussetzung dass beim Umschlage die schweflige Säure in gleichem Masse (praktisch quantitativ) verbraucht ist. Für die katalysierte

Reaktion liefern ebenso die reziproken Reaktionszeiten die relativen Geschwindigkeitskonstanten[1]), desgleichen beim Studium des Temperatureinflusses.

Die in den folgenden Versuchen benutzte Jodsäurelösung war 0,1 m — n, ebenso die Lösung von schwefliger Säure (letztere nur ungefähr, nämlich 0,6 %ig inbezug auf $SO_2$). Die Stärkelösung wurde in der üblichen Weise ohne konservierende Zusätze bereitet (vgl. Beckurts, Die Methoden der Massanalyse, Braunschweig, 1910, S. 237) und überall, auch bei den weiter unten mitgeteilten Versuchen, in einer Menge von 5 ccm zugesetzt. Zu sämtlichen Versuchen darf nur destilliertes Wasser verwandt werden, da das gewöhnliche Leitungswasser durch seinen Gehalt an Carbonaten gelegentlich grobe Störungen hervorrufen kann. Die Versuche wurden stets so ausgeführt, dass das oxydierende Reagens, in den folgenden Versuchen also die Jodsäure, einerseits, die schweflige Säure nebst den erforderlichen Zusätzen anderseits in der gleichen Menge Lösungsmittel bereit gehalten wurden; im geeigneten Augenblicke wurde das Oxydationsmittel in die schweflige Säure gegossen — nie umgekehrt —, und durch energisches Umrühren für völlige Durchmischung gesorgt. Die genannte Art der Vermischung ist deswegen nötig, weil ein kleiner Fehler in der Menge der schwefligen Säure viel, eine Ungenauigkeit in der Menge des stets in erheblichem Ueberschusse vorhandenen Oxydationsmittels aber nur relativ wenig für die Reaktionszeit ausmacht; daher ist es ohne Bedeutung, wenn ein wenig von der ohnehin ziemlich verdünnten Oxydationsmittellösung beim Ausgiessen an der Wandung durch Benetzung hängen bleibt.

Eine Zusammenstellung reaktionskinetischer Demonstrationsversuche mit Hilfe der Landoltschen Reaktion gibt die Tabelle 1.

---

1) Vgl. A. A. Noyes, Z. physik. Chem. 19, 604 (1896).

Tabelle 1.

| Versuch Nr. | $HJO_3$ ccm | $H_2SO_3$ ccm | Zusätze | Gesamtvolum ccm | Temp. | Reakt.-Zeit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 10 | — | 500 | 16° | 172″ |
| 2 | 50 | 10 | — | 500 | 16° | 9″ |
| 3 | 10 | 10 | — | 100 | 16° | 3¼″ |
| 4 | 50 | 10 | — | 500 | 0° | 14″ |
| 5 | 10 | 10 | 2n HCl 5 ccm | 500 | 16° | 13,5″ |
| 6 | 10 | 10 | 2n HCl 20 ccm | 500 | 16° | ca. 1″ |
| 7 | 10 | 10 | n KJ 10 ccm | 500 | 16° | sof. Umschl. |

Die Zeitmessung erfolgte bei den grossen Reaktionsgeschwindigkeiten mit Hilfe eines auf Sekundentempo eingestellten Metronoms, bei längerer Versuchsdauer mit einer Stoppuhr.

Die Versuche 1 bis 3 demonstrieren den Einfluss der Konzentration. Wird bei gleicher Menge von schwefliger Säure und gleichem Volum die Konzentration der Jodsäure verfünffacht (Versuch 2), so steigt die Reaktionsgeschwindigkeit auf das rund Neunzehnfache. Die Konzentration beider Reagentien lässt sich ohne Veränderung der Menge der schwefligen Säure nur in der Weise verändern, dass das Gesamtvolum variiert wird. Auf diese Art ist in Versuch 3 die Konzentration der Jodsäure und der schwefligen Säure auf das Fünffache erhöht worden, was eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit etwa auf den 53 fachen Wert gegenüber dem Grundversuche (Nr. 1) zur Folge hat.

Erniedrigung der Temperatur von 16° auf 0° bewirkt eine Verlängerung der Reaktionszeit von 9″ auf 14″ (Versuch 2 und 4). Beim Studium des Temperatureinflusses ist eine Erhöhung der Versuchstemperatur über 30° hinaus zu

vermeiden, weil dann die Empfindlichkeit der Jodstärkereaktion merklich beeinflusst wird [1]).

Die Versuche 5 und 6 veranschaulichen die katalytische Beschleunigung der Reaktion durch die Gegenwart von Säuren und zeigen gleichzeitig, dass mit der Konzentration des Katalysators auch die Beschleunigung wächst. Man kann derartige Versuche weiterhin dazu benutzen, um den Zusammenhang der Beschleunigung mit der Stärke der zugesetzten Säure (gleiche Konzentrationen der letzteren vorausgesetzt) zu demonstrieren, und aus den Ergebnissen den Schluss ziehen, dass die katalytische Wirkung im wesentlichen dem Wasserstoffion zukommt. Umgekehrt kann man auf der Grundlage der letzteren Auffassung die Landoltsche Reaktion zur Demonstration der Ionisations- und Stärkeverhältnisse verschiedener Säuren benutzen. Es lässt sich z. B. sehr leicht zeigen, dass Essigsäure unter gleichen Verhältnissen nur eine sehr geringe Beschleunigung ergibt, während die starken Mineralsäuren unter sich relativ geringe Unterschiede zeigen. Auf letztere ist weiter unten noch näher einzugehen. Von allen Säuren wirkt bei weitem am stärksten beschleunigend die Jodwasserstoffsäure, die in dieser Hinsicht unter den Mineralsäuren eine Sonderstellung einnimmt. Aber auch neutrale Jodide zeichnen sich durch ganz auffällige Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit aus, wie aus dem Versuche 7 hervorgeht. Auch diese Erfahrung wird noch besprochen werden.

Die bereits von Landolt beobachtete katalytische Beschleunigung der von ihm beschriebenen Reaktion durch Säuren wurde schon von W. Ostwald in einem Referate über die Landoltschen Arbeiten und bei Gelegenheit eigener Untersuchungen über ähnliche Phänome als sehr auffällig und noch unerklärt bezeichnet [2]). In der Tat gibt die eben

1) A. A. Noyes und A. A. Blanchard, Z. physik. Chem. **36**, 17 (1901).

2) Z. physik. Chem. **1**, 194 (1887); **2**, 127; 128; 147 (1888).

genannte Reaktionsgleichung keinen Anhalt für eine derartige dynamische Betätigung von Säuren. Wollte man die Reaktion zwischen Jodsäure und schwefliger Säure als umkehrbar annehmen, so käme man zu dem Symbol

$$HJO_3 + 3H_2SO_3 \rightleftarrows HJ + 3H_2SO_4$$

und hätte dann sogar eine Verlangsamung der Reaktion durch einen Ueberschuss von Schwefelsäure wie von Jodwasserstoff zu erwarten, käme also zu einem der tatsächlichen Beobachtung gerade entgegengesetzten Resultate. Nun besitzt aber Schwefelsäure in verdünnter Lösung kein nachweisbares Oxydationsvermögen, sodass von einer Umkehrbarkeit der Reaktion nicht wohl die Rede sein kann, und unser Reaktionsschema vielmehr die Form erhalten muss

$$HJO_3 + 3H_2SO_3 \rightarrow HJ + 3H_2SO_4.$$

Nach dieser bleibt aber für eine beschleunigende Wirkung von Säuren ebenfalls kein Raum. Da überhaupt das Wasserstoffion das Wirksame ist, so tut man gut, die ganze Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise darzustellen, und kommt dann zu dem Ausdrucke

$$JO_3' + 3SO_3'' \rightarrow J' + 3SO_4''.$$

Auch hieraus ist jedoch die Möglichkeit einer Beschleunigung durch Wasserstoffion nicht abzuleiten, ebensowenig die noch viel stärkere durch Jodion. Man könnte im Gegenteil in der Zurückdrängung der Ionisation der relativ schwachen schwefligen Säure durch fremde Säuren (Verminderung der Konzentration des $SO_3''$) ein verlangsamendes Moment sehen.

Die Frage nach dem Wesen der „katalytischen“ Wirkung der Säuren bleibt also in jedem Falle noch offen, und in der bisher angenommenen Form lässt sich die Landoltsche Reaktion wohl zur Demonstration der wichtigsten Grundlagen der chemischen Kinetik benutzen, wie oben geschehen, ohne dass es jedoch nach dem gewöhnlichen Reaktionsschema möglich wäre, eine Erklärung für die so charakteristische Beeinflussung durch bestimmte Fremdstoffe (Säuren und Jo-

dide) zu geben. Der gegenwärtige Zustand ist also höchst unbefriedigend, zumal da es in vielen Fällen gelungen ist, das Wesen katalytischer Wirkungen auf die Eröffnung oder Ebnung eines bestimmten Reaktionsweges zurückzuführen (Uebertragungskatalyse). In solchen Fällen erwies sich also der Katalysator als nicht eigentlich inaktiv, sondern als latenter Reaktionsteilnehmer, der am Ende der Reaktion nur scheinbar unverändert, in Wirklichkeit quantitativ rückgebildet, vorgefunden wird. Sollte nicht Wasserstoffion ebenso wie Jodion in unserem Falle eine analoge Rolle als Reaktionsteilnehmer spielen?

Dass die klassische Landoltsche Reaktion nicht schon längst von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet worden ist, muss geradezu wunderbar erscheinen, weil in der Folgezeit eine grosse Zahl von Untersuchungen eine Menge von Material geliefert hat, das sich zur Erklärung jener merkwürdigen Erscheinungen heranziehen lässt. Man kann nur annehmen, dass die Landoltsche Reaktion bezw. die über ihr Wesen noch herrschende Unklarheit in Vergessenheit geraten ist, wozu vielleicht die etwas unübersichtliche Darstellung der Versuchsergebnisse in den Originalarbeiten beigetragen haben mag. Es soll nun im folgenden versucht werden, auf Grund neuerer Erfahrungen für den Mechanismus der Landoltschen Reaktion eine Form zu finden, die auch der Säure- und Jodidkatalyse Rechnung trägt. Hierzu muss vor allen Dingen die Theorie der Stufen- bezw. Folgereaktionen herangezogen werden. In einer grossen Zahl sehr verschiedenartiger Fälle ist übereinstimmend festgestellt worden, dass polymolekulare Reaktionen in der Regel einen viel einfacheren Reaktionsverlauf nehmen, als der nächstliegenden Reaktionsgleichung entspricht. Auf die umfangreiche Literatur kann hier nicht im einzelnen eingegangen werden; das soll bei anderer Gelegenheit geschehen, nämlich sobald die in Aussicht genommenen eingehenden Untersuchungen, deren Plan im folgenden angedeutet ist, durchgeführt sein werden.

Ganz allgemein sei nur darauf hingewiesen, dass nach den Ergebnissen zahlreicher reaktionkinetischer Untersuchungen die Natur gewissermassen das Bestreben hat, einen Reaktionsweg möglichst niedriger Ordnung zu befolgen. Die aus den Versuchsresultaten errechneten Geschwindigkeitskonstanten weisen in der Regel auf die Beteiligung einer viel kleineren Zahl von Molekeln hin, als nach der gewöhnlichen Reaktionsgleichung zu erwarten ist. Man kann diese Tatsache so verstehen, dass die Wahrscheinlichkeit eines örtlichen Zusammentreffens zahlreicher Molekeln in der richtigen Kombination und in günstiger Lage — an das im Sinne der kinetischen Theorie der Fortschritt der betreffenden Reaktion gebunden ist — kleiner ist, als die Wahrscheinlichkeit des entsprechenden Ereignisses für eine kleinere Zahl von Molekeln, deren Zusammentritt zu einer Zwischenreaktion führt. Letztere kann dabei Produkte liefern, an die man von vornherein nicht denkt, da sie wegen geringer Beständigkeit nur wenig bekannt sind. Eben diese Eigenschaft kann sie aber zu einer ausschlaggebenden Rolle für den Fortschritt der Reaktion befähigen. Der weitere Reaktionsverlauf kann sich in Form relativ rasch verlaufender Folgereaktionen abspielen, die aber auf die Geschwindigkeit der Gesamtreaktion nicht oder nur in untergeordneten Grade von Einfluss sind, weil das eigentliche Reaktionstempo von der langsameren Vorreaktion angegeben wird. Durch die Annahme, dass derartige Reaktionen in mehreren Stufen erfolgen, lässt sich die Erniedrigung der Reaktionsordnung in manchen Fällen befriedigend erklären.

Auch die Landoltsche Reaktion kann man nun, zunächst ohne Rücksicht auf eine etwaige Erniedrigung der Ordnung, in verschiedene Reaktionsstufen zerlegen und versuchen, ob sich damit etwas für die Erklärung ihrer Eigentümlichkeiten erreichen lässt. Wir wollen, um das Bild nicht unnötig zu komplizieren, zunächst nur zwei solcher Teilreaktionen annehmen, obwohl die an erster Stelle zu nennende

sicher selbst wieder noch in verschiedene Reaktionsstufen zerfällt.

Wir wählen aus bestimmten, sogleich noch näher anzugebenden Gründen als Hauptreaktion die nach dem Schema

$$\text{I. } JO_3' + 5J' + 6H^{\cdot} \rightarrow 3J_2 + 3H_2O$$

verlaufende, als Folgereaktion dagegen die Reaktion

$$\text{II. } SO_3'' + J_2 + 2OH' \rightarrow SO_4'' + 2J' + H_2O.$$

Wir machen ferner die Annahme, dass Reaktion I, die man einfach auch als Reduktion der Jodsäure durch Jodwasserstoff zu Jod und Wasser bezeichnen kann, relativ langsam, II. dagegen, die Oxydation der schwefligen Säure durch Jod zu Schwefelsäure, unvergleichlich viel schneller verläuft. Diese Annahme ist nicht so willkürlich, wie sie auf den ersten Blick erscheinen mag. Schon durch den Augenschein kann man sich, wenn auch nur qualitativ davon überzeugen, dass in der Tat die Einwirkung von Jod auf schweflige Säure (z. B. bei der Titration) überaus rasch vor sich geht. Anderseits liegen sehr ausführliche Untersuchungen über die Reaktion zwischen Jodwasserstoff einerseits und den Oxysäuren der Halogene anderseits und ihre Abhängigkeit von der Gegenwart von Säuren vor, aus denen sich ganz analoge Beziehungen ergeben, wie bei der Landoltschen Reaktion[1]). Auch hier handelt es sich um relativ langsame Reaktionen, die gleichfalls zur Demonstration der Grundgesetze der Reaktionskinetik benutzt werden können[2]). Es liegt daher der Schluss nahe, dass das Tempo der Reaktion in beiden Fällen von der gleichen Grundreaktion angegeben wird, und dass bei der Landoltschen Reaktion die schweflige Säure nur das freigemachte Jod fortwährend wegschafft und erst dann in Erscheinung treten lässt, wenn sie

1) W. Ostwald, Z. physik. Chem. **2**, 127 (1888). O. Burchard, Z. physik. Chem. **2**, 796 (1888) u. a.

2) A. A. Noyes und A. A. Blanchard, Z. physik. Chem. **36**, 15 (1901).

selbst verbraucht ist. Ob die hier gemachten Annahmen das Wesen der Sache treffen, wird eine genauere Prüfung ergeben, die einerseits in einer Durchrechnung des Messungsmaterials an der Landoltschen wie an der Jodid-Jodat-Reaktion, anderseits in einer Untersuchung der Reaktion zwischen Jod und schwefliger Säure bestehen wird.

Vorderhand lässt sich jedenfalls mit Hilfe der oben genannten Annahmen die ausserordentliche Beschleunigung — zunächst qualitativ — gut erklären, welche die Landoltsche Reaktion durch Wasserstoffion wie durch Jodion erfährt. Beide Ionenarten sind ja an der Hauptreaktion direkt beteiligt und noch dazu mit hoher Molekelzahl, was den Einfluss ihrer Konzentration noch erhöht. Die Folgereaktion (II.) würde allerdings durch Wasserstoffion verlangsamt werden, entsprechend der Zurückdrängung der Ionisation der schwefligen Säure und namentlich der Verminderung der Hydroxylionkonzentration. Doch scheint unter gewöhnlichen Verhältnissen ihre Geschwindigkeit immerhin so gross zu sein, dass alles gebildete Jod praktisch momentan verbraucht wird, und die Gesamtreaktion in dem Tempo fortschreitet, das die langsamere Reaktion I. angibt. Beide Reaktionen sind als nicht umkehrbar angenommen worden; dementsprechend wird der Reaktionsverlauf durch einen einfachen Pfeil angedeutet. Für die Reaktion II. kann man diese Annahme in verdünnter Lösung als streng richtig, für I. als der Wahrheit mindestens sehr nahe kommend gelten lassen.

Gegen die Einführung des Reaktionsschemas I. und II. kann der Einwand erhoben werden, dass, wenn die Oxydation der schwefligen Säure durch Jodsäure nur in der genannten Reihenfolge, also indirekt, erfolgen soll, sie eigentlich überhaupt nicht eintreten sollte, wenn Jodsäure und schweflige Säure allein zusammengebracht werden. Denn da dann ja noch kein Jodion vorhanden ist, fehlt die Vorbedingung für die Reaktion I. Dieser Einwand ist allerdings berechtigt, und man kann nicht umhin, die Möglichkeit auch einer direkten

Reaktion zwischen $JO_3'$ und $SO_3''$ zuzugestehen. In den Anfangsstadien der Reaktion bildet dieser Prozess dann die ersten Spuren von Jodion, das in dem Masse, wie seine Konzentration zunimmt, sich mehr und mehr an der Reaktion beteiligt, sodass, vermutlich sehr bald, in den weiteren Reaktionsstadien die Reaktion I. nicht nur neben der direkten Reaktion verläuft, sondern diese zunehmend verdrängt. Unter Mitwirkung der Reaktion II. reichert sich ja das Jodion gewissermassen autokatalytisch an. Hand in Hand damit nimmt auch die Konzentration des Wasserstoffions zu, weil aus der schwachen schwefligen Säure die starke Schwefelsäure entsteht. Die Reaktion beschleunigt sich also in ihrem Verlaufe selbst, und darin liegt eine erhebliche Komplikation des ganzen Prozesses, falls, wie das die Regel ist, die Reaktion nicht in Gegenwart grosser Säurekonzentrationen und bei praktisch konstanter Jodidkonzentration verläuft.

Weiterhin bedarf die Annahme einer Begründung, dass als eigentliche Reaktionsteilnehmer die Ionen anstatt der ungespaltenen Säuren auftreten. Sie ist einmal darin gegeben, dass die beschleunigende Wirkung der Säuren auf die Jodid-Halogenat- wie auf die Landoltsche Reaktion in unzweifelhaftem Parallelismus mit der Stärke der Säuren, d. h. also mit der Wasserstoffionenkonzentration, steht. Ausserdem aber hat sich ganz uuzweideutig feststellen lassen, dass die Reaktionstendenz, im Falle der Oxydationsmittel also die oxydierende Kraft, sich nicht nur schätzen und vergleichen, sondern quantitativ bestimmen lässt durch Messung des elektrochemischen Potentials. Hier hat sich nun für sauerstoffabgebende Oxydationsmittel vom Typus der Jodsäure das Resultat ergeben, dass das Oxydationspotential durch Vermehrung der Wasserstoffionkonzentration erhöht wird. Die oxydierende Wirkung und ihre Steigerung durch Ansäuern ist also elektrochemischer Natur, soweit wässerige und zwar genüge ndverdünnte Lösungen in Frage kommen, und da wir es hier mit derartigen Fällen zu tun haben, können wir

mit vollem Rechte als Träger der oxydierenden Wirkung die Ionen ansehen. Ganz analoge Schlüsse lassen die Messungen an Reduktionsmitteln zu. Dass in anderen Fällen oxydierende oder reduzierende Wirkungen auch unabhängig von der Anwesenheit von Ionen angenommen werden müssen, berührt unsere Beispiele nicht. Im besonderen Falle der Jodsäure ist wohlbekannt, dass die wässerigen Lösungen ihrer Neutralsalze keine oxydierende Wirkung auf Jodide ausüben. Beim Ansäuern tritt Oxydation unter Säureverbrauch ein, eine Tatsache, die bekanntlich für die Analyse, insbesondere für die Massanalyse, in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung ist.

Wir hatten der Einfachheit halber zunächst angenommen, dass die Reaktion I. in einem Zuge, ohne Zwischenstufen, verläuft. Das ist sicher nicht der Fall. Aus den reaktionskinetischen Messungen an der Jodid-Jodatreaktion ergibt sich die Notwendigkeit, auch hier mindestens zwei Reaktionsstufen anzunehmen. Wir werden also in Wahrheit die langsamste dieser Teilreaktionen als massgebend für das Tempo auch der Landoltschen Reaktion anzusehen haben. Dadurch werden aber unsere Betrachtungen über den Mechanismus der letzteren nur unwesentlich modifiziert, denn wir setzen nun einfach an Stelle der Reaktion I. den ganzen Komplex von nicht genauer bekannten Teilreaktionen, auf den wir dieselben Ueberlegungen hinsichtlich der beschleunigenden Wirkung von $H^{\cdot}$ und $J'$ anwenden können.

Dagegen sprechen andere Tatsachen dafür, dass bei der Landoltschen Reaktion in Anwesenheit bestimmter Fremdstoffe gewisse Zwischenreaktionen eine Rolle spielen müssen. Denn die Wirkung der starken Mineralsäuren ordnet sich nicht streng nach der Stärke. Die Wirkung steigert sich vielmehr ganz unverhältnismässig in der Reihenfolge Schwefelsäure → Salpetersäure → Salzsäure → Bromwasserstoff. Dass Jodwasserstoff als Reaktionsteilnehmer in zweifachem Sinne ($H^{\cdot}$- und $J'$-Wirkung) eine Ausnahmestellung, wie schon oben erwähnt, einnimmt, ist anderseits nunmehr durchaus erklärlich.

Die Verschiedenheiten der Säurewirkung sind an den Versuchen der Tabelle 2 zu erkennen.

Tabelle 2.

Mischung wie Tabelle 1 Nr. 1. Temperatur 14,7°.

| Versuch Nr. | Zusatz | Reaktionszeit |
|---|---|---|
| 1 | — | 190″ |
| 2 | 5 ccm 2n HCl | 15″ |
| 3 | 5 ccm 2n $HNO_3$ | 22″ |
| 4 | 5 ccm 2n $H_2SO_4$ | 29″ |
| 5 | 5 ccm 2n HCl + 10 ccm 2n KCl | 10″ |
| 6 | 5 ccm 2n HCl + 10 ccm 10% KBr | 3″ |

Aehnliche Verhältnisse sind schon von Burchard[1]) bei der Jodid-Jodat-Reaktion gefunden und als Hinweis auf die intermediäre Entstehung freien Halogens (Chlor, Brom) gedeutet worden. Auch in dieser Hinsicht also zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen der Landoltschen Reaktion und der von uns als erste Stufe angenommenen Teilreaktion. Besonders beachtenswert ist der Einfluss weiterer Vermehrung der Chlorionkonzentration bei gleichem Säuregehalt (Versuch 5).

Es war nun fernerhin von Interesse, festzustellen, ob die obigen Ansichten über das Reaktionsschema der Landoltschen Reaktion sich in Uebereinstimmung mit weiteren Konsequenzen der Anschauungen über die elektrochemische Wirkung von Oxydationsmitteln befinden. Diese verlangen nämlich, dass die im Oxydationspotential der Messung zugängliche oxydierende Kraft eines Oxydationsmittels, das keinen Sauerstoff abgibt, durch die Gegenwart von Wasserstoffion nicht verändert wird, im Gegensatze zu der sauerstoffabgebender Oxydationsmittel, wie z. B. Jodsäure. Entsprechend der unveränderten Reaktionstendenz war für solche

1) Z. physik. Chem. 2, 838 (1888).

Substanzen auch keine Beschleunigung einer auf ihrer Wirkung beruhenden Reaktion durch Säure zu erwarten. Wenn also bei der Landoltschen Reaktion entsprechend unserer Annahme geschwindigkeitsbestimmend eine Vorreaktion ist, die in der Oxydation von Jodion zu Jod besteht, so müssen analoge Reaktionen mit nicht sauerstoffabgebenden Oxydationsmitteln gegen Säurezusatz unempfindlich sein. Dieser Nachweis ist in der Tat gelungen.

Die von Price[1]) studierte Oxydation von Jodion durch Persulfation gehört zu dem für das gesuchte Analogon erforderlichen Typus von Reaktionen. Die oxydierende Wirkung des Persulfats kann man als einfache Abgabe positiver Ladungen auffassen im Sinne des Schemas

$$S_2O_8'' \rightarrow 2SO_4'' + 2 \oplus.$$

Die Oxydation des Jodions durch Persulfation erfolgt dann nach

$$S_2O_8'' + 2J' \rightarrow 2SO_4'' + J_2.$$

Für eine Beteiligung des Wasserstoffions bleibt also gar kein Raum. In der Tat fand Price, dass die Gegenwart von Säuren praktisch ohne Einfluss ist. Auch erwähnt er kurz die Beobachtung, dass bei Zusatz von schwefliger Säure nicht eher Jodausscheidung eintritt, als bis alle schweflige Säure verbraucht ist; anderseits reagieren Persulfat und schweflige Säure bei Abwesenheit von Jodiden nur langsam miteinander. Nach alledem ist eine Mischung von Persulfat, Jodid und schwefliger Säure vortrefflich geeignet, als das gesuchte, säureunempfindliche Analogon zur Landoltschen Reaktion zu dienen. Ein Versuch bestätigte die Erwartung.

Es wurde eine Mischung von 50 ccm 0,055 m — n Kaliumpersulfat, 20 ccm n Kaliumjodid, 10 ccm 0,01 m — n schwefliger Säure und 5 ccm Stärkelösung in einem Gesamtvolum von 105 ccm in derselben Weise, wie bei der Landoltschen Reaktion beschrieben, zur Reaktion gebracht und zwar einmal

1) Z. physik. Chem. **27**, 474 (1898).

mit, das andere Mal ohne Säurezusatz (20 ccm 2n HCl). Die Versuchstemperatur war 16°. Im ersten Falle erfolgte Bläuung nach 33, im zweiten nach 29 Sekunden. Trotz des sehr bedeutenden Unterschiedes in der Wasserstoffionkonzentration (Steigerung auf etwa das 400 Fache) ist also die Reaktionszeit sehr nahe konstant geblieben. Das Ergebnis darf als Stütze für die oben auseinandergesetzte Annahme der Existenz bestimmter Reaktionsstufen bei der Landoltschen Reaktion angesehen werden.

Als weiteres Beispiel der gleichen Art schien die Oxydation schwefliger Säure durch Ferrisalze geeignet. Diese Reaktion verläuft bei Abwesenheit von Jodiden ebenfalls sehr träge und wird durch Jodidzusatz ausserordentlich beschleunigt. Auch hier ist die analoge Vorreaktion, die Oxydation von Jodiden durch Ferrisalz, bereits gut bekannt, und es zeigte sich, dass deren Eigentümlichkeiten [1]) sich im Verlaufe der der Landoltschen entsprechenden Gesamtreaktion wiederspiegeln. Die Reaktion zwischen Ferriion und Jodion verläuft in diesem Sinne:

$$Fe^{\cdot\cdot\cdot} + J' \rightleftarrows Fe^{\cdot\cdot} + {}^1/_2 J_2.$$

Obwohl sie also deutlich umkehrbar ist, kann man doch für die Praxis einfach mit dem Reaktionsverlauf von links nach rechts rechnen, da das Gleichgewicht sehr zu gunsten der Produkte der rechten Seite liegt. Auch hier geht Wasserstoffion in die Reaktionsgleichung nicht ein, ist eine Beeinflussung der Geschwindigkeit durch Säure also nicht zu erwarten. Dass gleichwohl eine merkliche Säureempfindlichkeit an der reinen Vorreaktion wie an dem Analogon zur Landoltschen konstatiert wurde (über letzteres s. unten), erklärt sich aus der Hydrolyse der Ferrisalze, die eine erhebliche Verminderung der Ferriionkonzentration bewirkt und durch

1) Vgl. K. Seubert und Mitarbeiter, Z. anorg. Chem. **5**, 334; 411 (1894); **7**, 137; 393 (1894); **9**, 212 (1895). A. Schükarew, Z. physik. Chem. **38**, 353 (1901).

Säure zurückgedrängt wird [1]). Jedenfalls ist aber die Säureempfindlichkeit mit derjenigen der Landoltschen Reaktion nicht zu vergleichen. Ausserdem zeigen sich hier Einflüsse, die eine andere Ursache haben müssen, wie gelegentlich der Besprechung der weiter unten mitgeteilten Versuchsergebnisse dargetan werden wird.

Die Abhängigkeit der Reaktionszeit von Säure- und Jodidgehalt sowie von der Temperatur geht aus den Werten der Tabelle 3 hervor. Als Oxydationsmittel diente überall Eisenammoniumalaun (50 ccm einer für $Fe^{III}$ 0,3 m — n Lösung; die schweflige Säure war 0,1 m — n und überall in einer Menge von 10 ccm vorhanden; die zugesetzte Kaliumjodidlösung war 1n, die Salzsäure 2n; das Gesamtvolum betrug stets 100 ccm, worunter 5 ccm Stärkelösung waren. Die Vermischung erfolgte genau wie bei der Landoltschen Reaktion, d. h. durch Eingiessen der Eisenlösung in die Mischung der übrigen Reagentien.

Wie man sieht, steigt die Reaktionsgeschwindigkeit beträchtlich mit wachsendem Jodidgehalt (für Verdoppelung des letzteren auf etwa das Fünffache — 705 : 137 Sekunden). Anderseits äussert sich auch der Einfluss der Zurückdrängung der Hydrolyse in der Beschleunigung der Reaktion durch den Salzsäurezusatz. Wenn man aber bedenkt, dass die hydrolysierte Menge in der vorliegenden Konzentration des Ferrisalzes schätzungsweise [2]) etwa $^1/_3$ der Gesamtmenge ausmachen dürfte, so kommt man selbst unter der sicherlich unzutreffenden Annahme einer quantitativen Aufhebung der Hydrolyse zu einem Missverhältnis zwischen der erwarteten und der beobachteten Säurewirkung, denn die Reaktionszeit sinkt auf etwa $^2/_5$ durch Zufügung von nur 10 ccm Salzsäure. (Es sind hier die Werte für $0^0$ zugrunde gelegt.) Dieses Verhalten muss den Eindruck erwecken, dass hier

1) Siehe hierüber F. W. Küster, Z. anorg. Chem. II, 165 (1896).

2) Vgl. F. W. Küster, Z. anorg. Chem. II, 167, 170 (1896).

Tabelle 3.

| Temperatur C° | Zusätze 10 ccm KJ | 10 ccm HCl + 10 ccm KJ | 10 ccm HCl + 5 ccm KJ |
|---|---|---|---|
| | Reaktionszeit (Sekunden) | | |
| 0 | 350 | 137 | 705 |
| 9 | 77 | — | — |
| 10 | — | 35 | 160 |
| 12,3 | — | — | 88 |
| 12,5 | 47 | — | — |
| 13,4 | — | 16 | — |
| 14,3 | 41 | — | — |
| 14,6 | — | 13 | 61 |
| 15 | 37 | — | 56 |
| 17,7 | — | — | 42 |
| 18,3 | 22 | 8,5 | — |
| 20 | 19 | 5,5 | 31 |
| 20,5 | — | 5 | — |
| 21,7 | 17 | — | — |
| 22,3 | — | — | 20 |
| 25 | — | 3 | 11 |
| 32,6 | 5,5 | — | — |

noch andere Einflüsse ausser der Hydrolyse mitsprechen. Eine die Beschleunigung erklärende Beteiligung des Wasserstoffions an der Reaktion ist unwahrscheinlich, dagegen kann die Natur der ausser dem Ferriion in der Lösung vorhandenen Ionen von Bedeutung sein. Das wird durch die in der Tabelle 4 enthaltenen Ergebnisse bestätigt.

Tabelle 4.

Je 50 ccm 0,3 m—n Ferrisalzlösung, 10 ccm schweflige Säure 0,1 m—n, 10 ccm Jodkaliumlösung 1n, 5 ccm Stärke, Gesamtvolum 100 ccm, Temperatur 15°.

| | Art des Ferrisalzes | | |
|---|---|---|---|
| | Sulfat (Alaun) | Chlorid | Nitrat |
| Reaktionszeit (Sekunden) | 37 | 2,5 | unmessbar kurz |

Diese Unterschiede lassen sich durch die verschiedenen Hydrolysengrade allein nicht erklären. Insbesondere ist die grosse Verschiedenheit von Chlorid und Nitrat trotz praktisch gleicher Stärke der betreffenden Säuren auffallend. Man wird nicht fehlgehen in der Annahme, dass die Verringerung der Ferriionkonzentration in der Reihe Nitrat → Chlorid → Sulfat, auf die nach den Ergebnissen der obigen Tabelle geschlossen werden muss, wenigstens zu einem recht erheblichen Teile durch Komplexbildung veranlasst wird. Für das Chlorid ergibt sie sich schon aus der individuellen Farbe; für das Sulfat ist Komplexität aus anderweitigen, sehr triftigen Gründen anzunehmen.

So kann es denn nicht auffallen, das verschiedene Säuren ausser dem der Hydrolyse entgegenwirkenden, gemeinsamen Einflusse des Wasserstoffions auch noch eine zweite, dem Anion zukommende Wirkung äussern. Wir haben also Superposition zweier verschiedener Phänomene, die beide für die Konzentration des Ferriions von Bedeutung sind und darum für die Reaktionsgeschwindigkeit in Frage kommen. Die folgende Tabelle 5 gibt eine Zusammenstellung von Versuchsergebnissen, die derartige Verhältnisse erkennen lassen.

Die Betrachtung der Tabelle 5 lehrt, dass der Zusatz von Salzsäure zum Ferrisulfat viel energischer wirkt als der einer äquivalenten Menge von Schwefelsäure; das ist ja allerdings wegen der etwas grösseren Stärke der Salzsäure und des dadurch veranlassten stärkeren Hydrolysenrückgangs zu erwarten. Die Grösse des Unterschieds ist aber nur auf Grund der Annahme verständlich, dass Hand in Hand mit der Verdrängung der Schwefelsäure aus dem Ferrisalz (im Sinne der Ionentheorie: Bildung primären Sulfations) eine Abnahme der Komplexität erfolgt, die zu einer erheblichen Erhöhung der Ferriionkonzentration führt. Dass vielleicht noch ein weiteres Moment dabei wirksam ist, soll noch weiter unten erörtert werden.

Tabelle 5.

Je 50 ccm Ferrisalz 0,3 m — n, 10 ccm KJ 1n, 5 ccm Stärke.

| Versuch Nr. | Zusatz (2n Säure) | Reaktionszeit (Sekunden) |
|---|---|---|
| a) Sulfat (Alaun); 5 ccm $H_2SO_3$ 0,1 m — n; Temperatur 14,5°. Gesamtvolum 100 ccm. | | |
| 1 | — | 34 |
| 2 | 10 ccm HCl | 7 |
| 3 | 10 ccm $H_2SO_4$ | 18 |
| b) Chlorid; 10 ccm $H_2SO_3$ 0,1 m — n; Temperatur 15,5°. Gesamtvolum 500 ccm. | | |
| 4 | — | 23 |
| 5 | 10 ccm HCl | 22 |
| 6 | 20 ccm HCl | 27 |
| 7 | 10 ccm $HNO_3$ | 26 |
| 8 | 20 ccm $HNO_3$ | 34 |

Auch die Schwefelsäure beschleunigt etwas mehr, als zu erwarten wäre. Möglicherweise bildet auch die schweflige Säure relativ ionenarme Ferrikomplexe [1]), die durch die Zurückdrängung der Ionisation der schwefligen Säure infolge des Schwefelsäurezusatzes weitgehend zerstört werden. Das würde ein neues, die Sachlage komplizierendes Moment sein.

Sehr überraschend sind die Resultate der Reihe b. Man sollte allerdings erwarten, dass ein Zusatz von Salzsäure zum Chlorid nicht nennenswert beschleunigend wirkt; denn zur hydrolysenbeschränkenden Wirkung gesellt sich die entgegengesetzt gerichtete des Ionisationsrückganges des Ferrichlorids und der Zunahme der Chlorionkomplexe. Die Ergebnisse der Versuche 4 bis 6 müssen jedoch auch im Hinblick darauf befremden. Noch merkwürdiger sind die Resultate von 7 und 8.

1) Farbe des Ferrisulfits!

Die Salpetersäure kann keine Wirkungen haben, die eine Verminderung der Ferriionkonzentration bedingen, sondern im Gegenteil hier nur ionisationsfördernd wirken. Trotzdem ist eine merkliche Verlangsamung der Reaktion festgestellt. Wichtig ist zur Konstatierung dieser Tatsache, dass die benutzte Salpetersäure durch Auskochen vorher von niederen Oxydationsstufen des Stickstoffs befreit wird. Spuren von salpetriger Säure lassen die Reaktionsgeschwindigkeit rapide in die Höhe schnellen. So sank die Reaktionszeit bei der in Versuch 8 benutzten Mischung durch Zugabe eines winzigen Körnchens von Kaliumnitrit auf $1^1/_2$ Sekunden.

Jedenfalls ist durch die ganz unerwartete Verlangsamung der Reaktion durch Salpetersäure der Nachweis geliefert, dass hier noch ein weiterer Einfluss massgebend sein muss, bei dem die Konzentration des Ferriions keine Rolle spielt. Der hier mitgeteilte Fall ist wohl auch der einzige bisher beobachtete, in dem Säure eine Verlangsamung einer Oxydationsreaktion der vorliegenden Art herbeiführt. Auch diese Erscheinung ist aber erklärlich. Sauerstoffaufnehmende Reduktionsmittel reagieren energischer in alkalischer als in saurer Lösung, und ein solches haben wir ja hier in Gestalt der schwefligen Säure vor uns. Wenn also das Oxydationsmittel (wie das Ferriion) säureunempfindlich ist, ist die Entfaltung einer hemmenden Säurewirkung auf eine Reaktion von der Art der vorliegenden ganz gut denkbar. Wir kommen also zu dem Schlusse, dass in solchen Fällen die Geschwindigkeit der Folgereaktion (Oxydation der schwefligen Säure durch Jod) nicht mehr so unvergleichlich viel grösser ist als die der Vorreaktion, ja dass sie sogar genügend verlangsamt erscheint, um das Tempo der Gesamtreaktion mit angeben zu können. Wir haben also eine dritte Art von Säurewirkung, auf einer Zurückdrängung der Ionisation der schwefligen Säure und der Verminderung der Konzentration des Hydroxylions beruhend. Das Bild wird mithin immer komplizierter.

Dass für gewöhnlich die Folgereaktion für den Gesamtverlauf nicht als geschwindigkeitsbestimmend in Frage kommt, geht aus einer weiteren Beobachtung hervor, die bei Versuchen mit verschiedenen Mengen von schwefliger Säure gemacht wurden. Als je 50 ccm 0,3 m — n Ferrichloridlösung + 10 ccm 1n KJ + 5 ccm Stärke + 10 ccm 2n HCl in einem Gesamtvolum von 100 ccm einmal mit 10 ccm, das andere Mal mit 5 ccm 0,1 m — n schwefliger Säure zur Reaktion gebracht wurden, erfolgte der Farbumschlag im ersten Falle nach 10, im zweiten nach 5 Sekunden. Das ist aber ein Ergebnis, das mit der Annahme einer Beteiligung der schwefligen Säure an der geschwindigkeitsbestimmenden Reaktion ganz unvereinbar wäre. Eine einfache Rechnung zeigt, dass, wie man auch die Ordnung der Reaktion ansetzen mag, der Verbrauch der doppelten Menge eines Reaktionsteilnehmers bis zu dem gleichen absoluten Betrage niemals doppelt so lange dauern kann als derjenige der einfachen Menge. Rein qualitativ ergibt das ja schon die Ueberlegung, dass die Reaktion in den Stadien höherer Konzentrationen ungleich rascher verläuft, als in denen niederer, dass also die Konzentration von dem doppelten Betrage auf den einfachen in viel kürzerer Zeit sinken muss als von dem einfachen auf einen dem Werte Null praktisch genügend nahe liegenden Betrag. Experimentell lässt sich das auch an der von Noyes[1]) untersuchten Reduktion von Ferrichlorid durch Zinnchlorür zeigen, indem man die Färbung mit Rhodanion als Mass für die Menge noch unverbrauchten Ferriions benutzt. Ein geeignetes Mischungsverhältnis ist z. B. für praktisch vollständigen Verbrauch von Ferriion durch überschüssiges Stannoion:

5 bezw. 10 ccm 0,03 m — n $FeCl_3$ + 10 ccm $^1/_3$ m — n $SnCl_2$ + 25 ccm 2n HCl bei einem Gesamtvolum von 60 ccm. Das Verhältnis der Reaktionszeiten hängt natürlich von der

1) Z. physik. Chem. **16**, 546 (1895); **21**, 16 (1896).

Wahl des Reaktionsendpunktes ab. In jedem Falle lässt sich aber leicht zeigen, dass das Abblassen der eisenreicheren Lösung auf den Anfangston der eisenärmeren viel rascher vor sich geht, als die praktisch vollständige Entfärbung der letzteren. Hier ist eben das im Verlaufe der Reaktion verbrauchte Ferriion wirklich Teilnehmer an dem Vorgange, dessen Geschwindigkeit direkt bestimmt wird, und man wird aus dem abweichenden Verhalten der Reaktion zwischen $F^{\cdots}$, $J'$ und $SO_3''$ schliessen müssen, dass letzteres, das ja aus dem Reaktionsgemisch praktisch vollständig verschwindet, an dem für das Tempo der Gesamtreaktion bestimmenden Vorgange nicht beteiligt ist, weil die Reaktion bei praktisch unveränderter Konzentration von $Fe^{\cdots}$ und $J'$ praktisch konstant bleibt; denn das ist doch schliesslich der Sinn der Tatsache, dass die Reaktionszeit der Menge der schwefligen Säure proportional ist.

Immerhin ist in unserem Beispiele zu berücksichtigen, dass die Oxydation der schwefligen Säure zu Schwefelsäure an sich wieder gewisse Komplikationen schafft, indem in gewissem Grade die Komplexbildung begünstigt wird. Wie weit sich dieser Einfluss ausschliessen lässt, und wie dann Reaktionszeit und Menge der schwefligen Säure in Zusammenhang stehen, soll durch noch nicht abgeschlossene weitere Untersuchungen festgestellt werden. Auch die Anwendung des gleichen Untersuchungsprinzips auf die vermutliche Folgereaktion der Landoltschen Reaktion liegt im Bereiche der beabsichtigten weiteren Versuche.

Zu den bisher erörterten drei Möglichkeiten eines Einflusses der Säuren auf die Geschwindigkeit des Ferrisalzanalogons zur Landoltschen Reaktion gesellt sich endlich noch eine vierte.

Versuche mit Ferrinitrat, Jodkalium und schwefliger Säure unter Zusatz verschiedener Säuren und Salze hatten das folgende Resultat. Wurde einer bestimmten Mischung, die in 24,5 Sekunden umschlug, die gleiche Anzahl von

Aequivalenten verschiedener Säuren für sich oder in Mischung mit äquivalenten Mengen der angegebenen Salze zugefügt, so ergaben sich für Zusatz von

| | $HNO_3$ | HCl | $H_2SO_4$ | ($HNO_3$ + KCl) | ($HNO_3$ + KBr) |
|---|---|---|---|---|---|
| als Reakt.-Zeit. | 27″ | 38″ | 230″ | 33″ | 21″ |

Ausser der uns schon bekannten Verzögerung durch das Wasserstoffion bei der Salpetersäure und die gleichzeitige durch Komplexbildung bei Anwesenheit von Chlorion und von Sulfation, zu der sich bei dem letztgenannten noch ein gewisser Mehrbetrag der Hydrolyse addiert, erkennen wir eine neue Erscheinung in dem Verhalten des Bromids, das eine ausgesprochene Beschleunigung bewirkt. Wir werden sogleich an das eigenartige Verhalten der Halogenionen bei der Landoltschen Reaktion bezw. ihrer Vorreaktion erinnert und werden wohl auch hier nicht umhinkönnen, der Möglichkeit der Entstehung auch anderer Halogene als Jod einen Einfluss auf den Reaktionsverlauf zuzugestehen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die genauere Prüfung auch anscheinend einfacher Reaktionen, wie im Falle des Ferrisalzanalogons zur Landoltschen Reaktion, recht komplizierte Verhältnisse aufdecken kann. Umsoweniger ist es dann zu verwundern, wenn die sicherlich viel weniger einfache Landoltsche Reaktion noch viel mehr Rätsel birgt. Ein gewisser Einblick in den vermutlichen Reaktionsmechanismus dürften die vorstehend beschriebenen Versuche immerhin ermöglicht haben. Ob die beabsichtigte weitere Verfolgung der Frage noch andere Gesichtspunkte ergeben wird, bleibt abzuwarten.

Zum Schluss sei noch kurz erwähnt, dass der, wie oben nachgewiesen, nur scheinbar katalytische Einfluss von Jodiden auf die Geschwindigkeit von Oxydationsreaktionen in noch manchen anderen Fällen beobachtet werden kann. So wird beispielsweise — um nur einen Fall zu nennen — auch die Reaktion zwischen Ferrisalz und Stannosalz ausserordentlich durch Jodkalium beschleunigt. Praktische Bedeutung besitzt

vielleicht diese Beschleunigung für die Reduktion von Arsensäure in saurer Lösung durch Schwefelwasserstoff. Es ist ja eine dem analytisch arbeitenden Chemiker in sehr unerwünschter Weise sich immer wieder aufdrängende Erfahrungstatsache, dass die Fällung des fünfwertigen Arsens mit Schwefelwasserstoff sehr langsam fortschreitet. Man sucht diese als Reduktion der Arsensäure zu arseniger Säure aufgefasste Zeitreaktion durch Ansäuern und Erwärmen zu beschleunigen. Viel wirksamer ist ein Zusatz von Jodid, wie der folgende Versuch zeigt.

Vermischt man 5 ccm einer 0,1 m — n Natriumarseniatlösung mit 50 ccm gesättigten Schwefelwasserstoffwassers, giesst die Flüssigkeit zu 100 ccm einer siedend heissen 1 n Salzsäure und filtriert von dem sich langsam abscheidenden Schwefelarsen nach 5 Minuten langem Stehen ab, so ergibt das Filtrat bei erneutem Erhitzen, aber auch schon bei weiterer Abkühlung, wieder eine Fällung von Schwefelarsen als Zeichen dafür, dass die Ausfällung noch nicht beendet war.

Fügt man dagegen zu der Salzsäure vor der Beimischung der arsenhaltigen Lösung 10 ccm n Jodkalium[1]), so erfolgt die Ausfällung sichtlich rascher, und die Untersuchung des genau so gewonnenen und behandelten Filtrats beweist, dass das Arsen quantitativ als Schwefelverbindung ausgefällt ist: das Filtrat ist völlig arsenfrei.

Vielleicht lässt sich diese Beobachtung zur Abkürzung der wegen ihrer Langsamkeit recht lästigen Fällung des in fünfwertiger Form vorliegenden Arsens verwerten.

Für ihre Mitwirkung bei den vorstehend beschriebenen Versuchen bin ich meiner Assistentin, Frl. E. Möller, zu Dank verpflichtet.

---

1) Ueber die Reaktion zwischen Arsensäure und Jodiden vgl. J. R. Roebuck, Journ. Phys. Chem. **6**, 365 (1902); referiert Z. physik. Chem. **47**, 121 (1904).

Aufgelegte Schriften:

Canada, Departement of Mines, Memoir Nr. 2. Ottawa 1910.
Bulletin of the Univ. of Kansas. Vol. XI, Nr. 7. Lawrence, Kansas 1910.
The American Naturalist. Vol. 44, Nr. 527. New York 1910.
Proceedings of the American Philosophical Society. Vol. 49, No. 196. Philadelphia 1910.
Anales del Museo Nacional de Buenos Aires. Serie III, Tom XI. Buenos Aires 1910.
Atti della Reale Aceademia dei Lincei. Vol. 19, Fascicolo 8. Roma 1910.
Bulletin de L'Academie impériale des Sciences de St. Petersbourg. VI. Serie 1910, Nr. 15. St. Petersbourg 1910.
Bataafsch Genootschap der Proefondervindelyke Wijsbegeerte. Programm d. Preisfragen f. 1912. Rotterdam 1910.
Verhdlg. Naturf. Ver. Brünn. Bd. 47. Brünn 1909.
„ Verein Natur- u. Heilkunde Pressburg. Nr. 18—20. Pressburg 1908—09 (ungarisch).
A Poszonyi Oroos-Természettudo-mányi egyesiilet tór ténete és tevékenysége. Pressburg 1907.
Bergens Museum Aarsberetning. Bergen 1910.
„ „ Aarbog 1909, Nr. 15. Bergen 1910.
K. Svenske Vetenskapakademien i. Stockholm.
Arkiv för Zoologi VI, 1. Upsala 1909.
„ „ Botanik IX, 2. Upsala 1910.
„ „ Matematik, Astronomie och Fysik VI, 1. Upsala 1910,
Results of the swedisck Zoological Expedition to Egypt and the White Nile 1901. Part. III. Upsala 1909.
Regenwaarnemingen in Nederlandsch-Indie. 1908 I u. II. Batavia 1909.
Societas Fennica, Acta. Tom XXXVII, Nr. 2, 4; 9—11. Helsingfors 1909. Tom XXXVIII, Nr. 1. Helsingsfors 1909.
Bidrag till kännedom of Finlands Natur och Folk. H. 67, Nr. 1. Helsingfors 1908. 2, 3. Helsingfors 1909. H. 68, Nr. 2. Helsingfors 1909.
Öfversigt of Finska Vetensk. Soc. u. förhandlingar. LI, 1908—1909. A, C. Helsingfors 1909.
Bull. Acad. St. Petersburg. 1910, Heft 2—7.
Bull. Soc. des Naturalistes Moscou. 1908, 3 u. 4. Moskau 1910.
Schriften d. naturf. Ges. zu Kiew. Bd. XX, 4 u. XXI, 1. Kiew 1909 u. 1910 (russisch).
Actes de la Soc. Helvétique des Sc. nat. Bd. I u. II. Aarau.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 3 Mai 1912


In der Sitzung vom 8. Mai trug Herr Richarz vor:

### Ueber die Stellung meiner eigenen Ueberlegungen, das Gesetz von Dulong und Petit betreffend, zu denen von Einstein.

Verschiedene Gründe veranlassen mich, jetzt eine schon längst beabsichtigte Gegenüberstellung meiner eigenen Ueberlegungen, das Gesetz von Dulong und Petit betreffend, zu denen von Einstein zu veröffentlichen.

Wie ich in einer Reihe von Abhandlungen seit dem Februar 1893*) gezeigt habe, lässt sich sehr allgemein, ohne speziellere Voraussetzungen über die Molekularbewegung bei festen Körpern und über die zwischen deren Molekeln wirksamen Kräfte, aus dem Virialsatze der Normalwert der Atomwärme nach dem Gesetz von Dulong und Petit theoretisch ableiten, wenn jedes Atom eines festen Elementes als frei beweglich und mit voller, der absoluten Temperatur proportionalen mittleren kinetischen Energie bewegt angenommen wird. Ueber die zwischen den Atomen wirkenden Kräfte braucht nichts weiter angenommen zu werden, als dass sie eine Lage stabilen Gleichgewichtes für jedes Atom ergeben. Hervorgehoben habe ich stets, dass das **Gesetz** von Dulong und Petit **nur** für die

*) F. Richarz, Sitzungsber. d. Physikal. Ges. Berlin, 24. Febr. 1893.

spezifische Wärme **bei konstantem Volumen**, $c_v$, sich ergibt. Die Differenz $(c_p - c_v)$ ist ein **erster Grund** der Abweichungen vom konstanten Werte der Atomwärme und für deren **Temperaturabhängigkeit.** Ferner ist implicite die Voraussetzung gemacht, dass auf irgend eine Weise bei Temperatursteigerung die Erhöhung der mittleren kinetischen Energie von Atom zu Atom übertragen wird. Welches der Mechanismus dieser letzteren Kräfte ist, ist dabei gleichgültig, wenn nur die volle Uebertragung stattfindet. Daraus ist also ersichtlich, dass meine früheren Ableitungen unter letzterer Bedingung nicht im Widerspruch stehen mit den neuen von Einstein eingeführten Gesichtpunkten. Nach Einstein soll nämlich diese Uebertragung der Energie von Atom zu Atom in der Weise stattfinden, dass die Oszillationen der Verschiebungselektronen in den zunächst erwärmten Atomen eine Strahlung ergeben, die auch, direkt von aussen zugeführt, die ursprüngliche Ursache der Erwärmung sein kann. Diese Strahlung wiederum erregt dann durch Resonanz Mitschwingen der Verschiebungselektronen der anderen Atome und dieses Mitschwingen der Verschiebungselektronen wiederum Mitbewegung der ponderablen Atome. Zunächst besteht also der Unterschied von Einsteins Ueberlegungen in spezielleren Annahmen über den Mechanismus der Energieübertragung zwischen den Atomen, während meine Theorie solche spezielle Annahmen nicht gemacht hat.

Neu hinzu kommt durch Einsteins Ueberlegungen gegenüber den meinigen nur folgendes: Für gewisse Eigenfrequenzen der Verschiebungselektronen beginnt die Resonanz erst bei steigender Temperatur und ist erst bei hohen Temperaturen vollständig, sodass erst bei letzteren der Normalwert der Atomwärme erreicht wird. Der Einsteinsche elektromagnetische Mechanismus der Uebertragung der Energie zwischen den Atomen erklärt infolgedessen eine bestimmte Abhängigkeit der spezifischen Wärme von der Temperatur, und zwar so, dass bei niedrigerer Temperatur kleinere Werte

als die normalen sich ergeben, als obere Grenze bei steigender Temperatur der normale Wert der Atomwärme nach dem Gesetz von Dulong und Petit. **Uebernormale Werte** der Atomwärme, wie sie tatsächlich vorkommen, vermag die **Einstein**sche Theorie **nicht** zu erklären; denn sie nimmt die elektromagnetische Uebertragung der Energie durch Resonanz als einzigen Uebertragungsmechanismus an und als einzigen Träger der Wärmeenergie die mit den Schwingungselektronen verbundenen ponderablen Atome. Auch stimmt die **Einstein**sche Formel für den Anstieg der spezifischen Wärme mit der Temperatur **keineswegs** in allen Fällen **mit der Beobachtung überein.**

Ausser dem Einsteinschen elektromagnetischen Mechanismus der Uebertragung der Energie zwischen den Atomen muss auch aus anderen Gründen noch ein anderer angenommen werden. Und zwar sind dies die zwischen den ponderablen Atomen umherschwirrenden **Leitungselektronen.** Wenn nicht auch deren Einfluss für die Energieübertragung von Atom zu Atom wesentlich wäre, würde ja bezüglich des Wärmeleitvermögens die Erklärung des Gesetzes von Wiedemann und Franz nach Riecke und Drude vollständig hinfällig werden. Bekanntlich ist aber diese Erklärung die einzige für jenes Gesetz, die wir haben, und hat vielfach höchst erfreuliche Aufklärungen gezeitigt. Meinerseits möchte ich nun nicht in den Fehler verfallen, diese Uebertragung der Energie von Atom zu Atom für die einzige zu halten, wie Einstein die seinige. Vielmehr bestehen beide Uebertragungen. Auch ist bezüglich der Rolle der freien Elektronen hervorzuheben, dass dieselben im allgemeinen nur für den Mechanismus der Energie-Uebertragung mit heran zu ziehen sind. Sie zählen im allgemeinen aber nicht auch für die spezifische Wärme als freie Gebilde bezüglich ihrer Energie mit, da sich sonst viel höhere Werte für die spezifische Wärme ergeben müssten als die dem Gesetz von Dulong und Petit entsprechenden. Ich habe hierüber in meiner zusammenfassenden Darstellung,

Zeitschrift für anorganische Chemie, Band 59, 1908, pag. 156 ff., folgendes gesagt:

„Endlich ist noch zu besprechen, die Möglichkeit eines Einflusses der Elektronen. In bezug auf deren Energie ist es wieder fraglich, ob sie nicht mitzählt auf der rechten Seite der Gleichuug (11), und ob nicht etwa dadurch der Wert von $A \cdot C_v$ ein anderer als der normale wird. In dieser Hinsicht könnten zuerst die Leitungselektronen in Metallen in Betracht gezogen werden. Wir haben schon vor mehreren Jahren im hiesigen Institut den Versuch einer Beantwortung dieser Frage durch Messungen der spezifischen Wärme von Legierungen unternommen; eine Arbeit von Oskar Richter hierüber ist bereits seit zwei Jahren vollendet;[1]) sie lässt keinen wesentlichen Einfluss der Leitungselektronen auf die spezifische Wärme erkennen. Dies steht in Uebereinstimmung mit den auch z. B. von Reinganum und von H. A. Lorentz[2]) geäusserten Anschauungen. Wie diese nur untergeordnete Bedeutung der Leitungselektronen bei der Wärmeenergie zu deuten wäre, ist ungewiss. Vielleicht in der Weise, dass die Leitungselektronen immer nur verhältnismässig kurze Zeit als frei zu betrachten sind, verhältnismässig längere Zeit aber sich unfrei zusammen mit den ponderablen Atomen bewegen. Solche Anschauungen, die eine teilweise Rückkehr zu denen von W. Giese[3]) bedeuten, hat auch O. Richter in seiner im Druck befindlichen Dissertation ausgesprochen."

[Siehe auch die Bemerkung in meinen „Anfangsgründen der Maxwell'schen Theorie, verknüpft mit der Elektronentheorie", Teubner 1909, pag. 83: „Dabei muss noch dahingestellt bleiben, ob die Leitungselektronen in Metallen immer frei sind, oder nicht vielmehr nur zeitweise, wenn sie ein ponderables Atom verlassen, mit einem anderen sich aber noch nicht wieder vereinigt haben."]

1) Bereits erwähnt von A. Wigand, Physik. Zeitschr. 8 (1907), 346.
2) H. A. Lorentz, Ber. deutsch. physik. Ges. **5** (1907) 237.
3) W. Giese, Wied. Ann. **37** (1899), 576.

„Die Leitungselektronen müssten aber bei längerer Dauer der Freiheit und bei vermehrter Anzahl dann auch stärker in dem Werte von $N$ auf der rechten Seite der Gleichung (11) sich geltend machen können, und zwar indem sie ihn vergrössern, sodass auch **gegenüber** dem **normalen** Werte die Atomwärme $A \cdot C_v$ zu grosse Werte erhalten würde. Vielleicht ist dies die Ursache einiger starker **Ueberschreitungen** des Dulong-Petitschen Mittelwertes; z. B. bei *K, Na, Li* für mittlere und höhere Temperaturen; bei *Li* für niedere Temperaturen macht sich der Einfluss des kleineren Atomvolumens und Atomgewichtes geltend. Diese Annahme für die Alkalimetalle würde mit deren stark elektropositivem Charakter übereinstimmen; denn — worauf Joh. Königsberger[1]) zuerst hingewiesen hat — wird der elektropositive Charakter der Metalle die Freilassung negativer Elektronen seitens der ponderablen Atome in die Zwischenräume zwischen diese hinein begünstigen. Nach den neuesten Versuchen steigert sich diese Begünstigung bei den Alkalimetallen sogar bis zur Entsendung freier negativer Elektronen in die Umgebung. Vielleicht also erklären sich die schon bei mittleren Temperaturen abnorm grossen Atomwärmen der Alkalimetalle durch freie Elektronen. Das elektrische Leitvermögen der Alkalimetalle verglichen mit demjenigen anderer Metalle, aber für gleiche Anzahl von Atomen, ist relativ gross,[2]) was für meine Annahme spricht."

Mit den freien Elektronen und ihrer mit erhöhter Temperatur wachsenden Zahl und steigendem Einfluss auf die spezifische Wärme ist bereits dem von Einstein angenommenen ein weiterer Grund der Temperaturabhängigkeit von mir schon früher gegeben worden.

---

1) Joh. Königsberger, Verh. deutsch. physik. Ges. 9 (1907), 388. Dessen Schlussfolgerungen aus seinen wertvollen Arbeiten berühren sich vielfach mit den meinigen, worauf er auch bereits selbst aufmerksam gemacht hat.

2) Landolt und Börnsteins Tabellen, 1905, S. 717.

Dazu kommt nun ferner noch der Einfluss der Bildung von **Komplexen** aus mehreren Atomen in der Weise, dass ein solcher Komplex eine kleinere Gesamtwärmekapazität hat als die Summe der in ihm enthaltenen Atome und zwar deshalb, weil bei der **Komplexbildung** die Freiheit der Bewegung herabgesetzt wird. Hierauf habe ich bereits vor 10 Jahren in dem ersten nach seiner Begründung zu Giessen abgehaltenen Marburg-Giessener physikalischen Colloquium zuerst hingewiesen. Der Einfluss der Komplexbildung auf die spezifische Wärme bei den allotropen Modifikationen der Metalloide bildete den Ausgangspunkt für die Dissertation von A. Wigand und hat sich auch weiterhin als heuristisches Prinzip und in ihren Konsequenzen bewährt bei den Doktor-Arbeiten von Schlett, Richter, Dippel. Die Komplexbildung ist ebenfalls ein von dem Einsteinschen unabhängiger Grund für die **Temperaturabhängigkeit** der spezifischen Wärme. Temperaturerhöhung löst die Komplexe mehr und mehr und erhöht die spezifische Wärme; Temperaturerniedrigung vermehrt die Komplexbildung und setzt die spezifische Wärme herab. Es ist durchaus nicht von vornherein die Annahme abzuweisen, dass diese Komplexe bei dem absoluten Nullpunkte der Temperatur eine überaus grosse Anzahl von Atomen umfassen, sodass die spezifische Wärme bei dem absoluten Nullpunkte der Temperatur gleich Null würde, wie zuerst von U. Behn[1]) auf Grund seiner Versuche vermutet wurde.

Hierdurch glaube ich das Verhältnis **meiner** theoretischen **Ueberlegungen** zu denen von Einstein klargestellt zu haben; sie bleiben in vollem Umfange neben den Einsteinschen bestehen und bilden eine durchaus notwendige Ergänzung zu ihnen. In Bezug auf die Ableitung des **Normalwertes** der **Atomwärme,** entsprechend dem Gesetze von Dulong und Petit, bilden sie nach wie vor die **Grundlage jeder Theorie** desselben.

1) U. Behn, Wied. Ann. **66**, p. 243, 244, 1898.

Bei dieser Gelegenheit möge eine Weiterbildung einer längst bekannten älteren Demonstrationsweise des Gesetzes von Dulong und Petit erwähnt werden. Es werden bei derselben eine Anzahl gleichgrosser Metallzylinder gemeinschaftlich in siedendem Wasser erhitzt, dann nach Abtrocknen auf die hohe Kante einer rechteckigen Paraffinplatte aufgesetzt und schmelzen dann, entsprechend ihrer Wärmekapazität, verschieden tief in das Paraffin ein, soweit, bis sie sich abgekühlt haben auf die Schmelztemperatur des Paraffins. Insofern als gleiche Volumina, nicht aber gleiche Gewichte hierbei in Anwendung kommen, ist die Demonstration nicht exakt. Indessen macht dies wegen der nicht sehr verschiedenen spezifischen Gewichte nur wenig aus, abgesehen vom Blei, dessen kleine Wärmekapazität wegen der relativ grossen Masse aber durch den Versuch a fortiori bewiesen wird. Ausserdem zeigt sich, dass die Verschiedenheit der Wärmeleitung die Versuche stören kann, insofern als die bestleitenden Metalle, Silber und Kupfer, ihre Wärme schneller an das Paraffin abgeben, infolgedessen weniger Verlust an die Umgebung erleiden und schnell tiefer einschmelzen. Folgende Reihe von Metallen aber ergibt in Bezug auf die Tiefe des Einschmelzens die von dem Gesetze von Dulong und Petit verlangte Reihenfolge trotz der eben genannten Störungen:

| | Atomgewicht | Spezif. Wärme | Atomwärme |
|---|---|---|---|
| Wismuth . . . . . | 208,4 | 0,0308 | 6,47 |
| Blei . . . . . | 206,4 | 0,0314 | 6,49 |
| Zinn . . . . . | 118,8 | 0,0548 | 6,41 |
| Cadmium . . . . | 112,4 | 0,0551 | 6,19 |
| Zink . . . . . | 65,1 | 0,0932 | 6,07 |
| Eisen . . . . . | 55,9 | 0,114 | 6,37 |

Während der Anstellung des Versuches bleibt der Eisenzylinder zunächst hinter denen von Zink und Cadmium zurück. Das ist die Folge der schlechteren Wärmeleitfähigkeit von Eisen (0,16) im Vergleich mit Zink (0,27) und Cadmium (0,22).

Schliesslich aber ist der Eisenzylinder am tiefsten von Allen in die Paraffinplatte eingesunken.

Herr Dr. A. Wigand macht mich freundlichst darauf aufmerksam, dass meine obige Ausdrucksweise über die elektromagnetischen Schwingungen der Atome vielleicht missverstehbar ist. Einstein stellt sich, wie auch bereits Andere, vor, dass Verschiebungselektronen und ponderable Atomionen relativ gegeneinander verschiebbar sind. Von den Oszillationen, deren beide fähig sind, kommt für die Wärmeenergie wesentlich nur die Energie der Atomionschwingungen in Betracht; sie werden erregt, indem das elektromagnetische Wechselfeld der Strahlung an der Ladung des Atomions angreift und dadurch dann auch dessen ponderable Masse in Oszillationen versetzt.

---

In der Wahlsitzung fand zunächst die vorschriftsmässige Neuwahl des Vorstandes statt. Herr Geheimrat Prof. Korschelt wurde zum Vorsitzenden gewählt. In den engeren Ausschuss kamen Herr Prof. Richarz, Herr Prof. Schenck und Herr Prof. Neumann.

Zum ordentlichen Mitglied wurde Herr Prof. Dr. A. Thiel gewählt, der bisher ausserordentliches Mitglied gewesen war.

---

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 4 Juni 1912


In der Sitzung vom 12. Juni 1912 sprach Herr K. Andrée:

### Ueber Kegeltextur in Sanden und Sandsteinen mit besonderer Berücksichtigung der Sandsteinkegel des oberen Unterdevon der Umgegend von Marburg.

Kegelförmige Absonderungen in Sandsteinen sind m. W. zuerst von Johnstrup [1]), später von Deecke [2]) aus dem kambrischen Nexö-Sandstein von Bornholm beschrieben worden. Johnstrup erwähnte sie als „kegelförmige Gebilde mit nach unten gekehrter Spitze und konzentrischen Ringen auf der nach oben gerichteten Basis". Sie erfüllen die den Bornholmer Granit flach überlagernden Sandsteinbänke in besonders grosser Menge südlich von Aakirkeby. Die Entstehung dieser Gebilde hat erst später Deecke [3]) zu deuten versucht, und zwar nachdem er am Sandstrande des Darss, einer waldigen Halbinsel an der Grenze von Pommern und Mecklenburg, eine ganze Reihe wichtiger Vorgänge des Litorals zu beobachten Gelegenheit hatte. Hatten ihn die

1) F. Johnstrup. Abriss der Geologie von Bornholm. IV. Jahresbericht Geogr. Ges. Greifswald 1889/90. Greifswald 1891, p. 14. 15.

2) W. Deecke. Geologischer Führer durch Bornholm. (Sammlung geol. Führer III.) Berlin, Gebr. Bornträger 1899. p. 37, 103.

3) a. a. O. p. 103.

Sandsteinkegel von Bornholm früher an Tutenmergel erinnert, die ja in ähnlicher Weise konzentrisch aufgebaut sind[1]), so musste die Erklärung jetzt auf ganz anderem Wege gesucht werden. Deecke beobachtete 1906[2]), dass der Fuss der ersten Düne, also der oberste Abschnitt der Vordüne, aus einer Wechsellagerung von grobem Sand und dünnen, feinsandigen, schwarzen, kohligen und schwach kalkigen Lagen bestand. Auf diese völlig ausgetrocknete Vordüne, deren Oberfläche mit einem System äolischer Wellenfurchen bedeckt war, ging einen Tag lang ein kräftiger Regen nieder, sodass die gesamte Oberfläche nass war. 12 Stunden nach dem Regen begann der gröbere, schneller trocknende Sand schon wieder zu fliegen. Die dunkleren Lagen blieben zunächst hart und feucht. Sobald nun aber diese zu trocknen anfingen, zeigte sich, dass sie sich in lauter regelmässig angeordnete konzentrisch-schalige Partien zerlegt hatten, die durch die dunkle Farbe einzelner Ringe deutlich hervortraten und mit ihren Mittelpunkten in den Tälern der Wellenfurchen lagen. Die trockeneren Wellenkämme aber wurden nunmehr vom Winde angegriffen, sodass die konzentrisch-schaligen, dunklen Partien nach und nach herauspräpariert wurden, wobei ihre umgekehrt kegelförmige Gestalt zu Tage trat. Es zeigte sich nun, „dass der Regen zwar oben den feinen Sand völlig durchtränkt hatte, besonders die Täler der Wellenfurchen, in denen neben gröberem Sande vor allem Kohle und Staub sich im Windschatten angesammelt hatten. Von hier aus sickerte das Wasser in die Tiefe. Aber nicht gleichmässig, sondern von einzelnen Stellen aus, und zwar kegel- oder zapfenförmig, den meist groben Sand des Liegenden ver-

1) Aber, wie wir heute wohl sagen können, in ganz anderer Weise, als man früher annahm, und als es in Sandsteinen möglich wäre, nämlich im wesentlichen durch Kristallisationsvorgänge des $CaCO_3$ entstanden sind (vergl. O. M. Reis. Geognostische Jahreshefte 16. 1903).

2) W. Deecke. Einige Beobachtungen am Sandstrande. Centralbl. f. Min. u. s. w. 1906, p. 721—727, 6 Textfig.

kittend und durchtränkend". „Diese festeren Kegel wurden im Laufe des nächsten Tages vom Winde ... herausgeblasen. 24 Stunden lang war die gesamte obere Vordüne zwischen Prerow und Zingst mit tausenden derartiger Knollen und Kegel bedeckt .....; erst völlige Trockenheit zerstörte sie." Der physikalische Vorgang, der die konzentrisch-schalige Anordnung hervorrief, ist nun nach Deecke folgender. Der Regen treibt den Sand in den Tiefen der Wellenfurchen zu erbsen- bis wallnussgrossen Knollen zusammen und bettet diese in den feinen ebenfalls eingeschlämmten kohligen Sand ein. „Dann entsteht durch Kapillarspannung des Wassers, ähnlich wie an der Oberfläche einer Seifenblase, die konzentrisch-schalige Anordnung. Wie das Wasser seitwärts sich ausbreitet, wächst die Kugel bis zu einer bestimmten Grösse." So wurden bis 7 cm Durchmesser beobachtet. „Dann überwindet schliesslich die Schwere die Kapillarspannung und es geht aus der Kugel durch Einsickern die Tuten- oder Kegelform hervor." Soweit die Erklärung Deeckes. Ich muss gestehen, dass ihr physikalischer Teil mich nicht ganz befriedigt. Insbesondere bliebe meiner Ansicht nach immer noch die konzentrisch-schalige Anordnung des Sandes zu erklären. Vielleicht genügt hierzu eine periodische Unterbrechung des Einsickerns der Feuchtigkeit, und zwar in gleichen Zeitabständen, da die einzelnen Schalen immer die gleiche Dicke haben. Wie dem aber auch sei, Tatsache ist, dass durch Einsickern von Feuchtigkeit in trockenen Sand (der aus verschieden grobkörnigen Lagen besteht, und in den Tälern von Wellenfurchen) konzentrisch-schalige mit der Spitze nach unten gerichtete Sandkegel entstehen; Tatsache ist ferner, dass solche Gebilde auch fossil vorkommen. Und dieses letztere ist nun von Bedeutung, da es bestimmte paläogeographische Schlüsse zu ziehen gestattet. Die Versteinung dieser Sandkegel zu Sandsteinkegeln geschieht offenbar durch frühzeitige Anreicherung eines bestimmten Bindemittels in denselben. In dem rezenten

Falle, den Deecke beobachtete, scheint Kalkkarbonat, das durch Auflösung von Muschelschalen disponibel geworden war, in dieser Weise gewirkt zu haben. In anderen Fällen mögen Eisenkarbonate, vielleicht auch Tonsubstanzen oder Kieselsäure das Bindemittel abgeben. Auch glaube ich, dass die Anordnung der einzelnen Mineralkomponenten der Sande durch das Einsickern der Feuchtigkeit und die Wirkung der entstehenden Kugeloberflächen beeinflusst wird. Denn ich beobachtete bei den cambrischen Kegeln von Bornholm, die mir Prof. Deecke aus der Freiburger und Prof. Jäckel aus der Greifswalder geologischen Universitätssammlung freundlichst geliehen haben, eine vorzugsweise Anordnung der Glimmerblättchen parallel zu den Kegelschalenoberflächen, also senkrecht zu der Richtung der eindringenden Feuchtigkeit.

Ich stehe nun nicht an, die Kegel aus dem Nexö-Sandstein von Bornholm mit Deecke als eine auf einem trockenen Strande entstandene Bildung anzusehen, was mit unseren übrigen Erfahrungen über die faziellen Verhältnisse dieser Gesteinsbildung wohl übereinstimmt.[1]) Ist dieses aber berechtigt, so muss das gleiche für ein neues Vorkommnis aus unserer Umgebung gelten, das ich hiermit bekannt geben möchte.[2]) Die erste Kunde hiervon wurde uns durch eine grössere Kegelplatte, welche Herr Hauptlehrer Schneider in Marburg, als aus der Gegend zwischen Lohra und Altenvers stammend, im Anfang dieses Jahres dem geologisch-paläontologischen Institut der Marburger Universität überwies. Weitere kleinere Stücke erhielten wir durch Herrn Lehrer Geiger in Lohra, und ich verdanke dem letzteren die Kenntnis der Lokalität, an welcher diese quarzitischen Sandsteinplatten

---

1) Nach frdl. Mitteilung des Prof. Moberg in Lund finden sich ähnliche Kegelbildungen auch im mittelcambrischen Tessini-Sandstein auf Öland, dort, wo derselbe kalkiges Bindemittel aufweist.

2) Eine ausführlichere, von Abbildungen begleitete Abhandlung „über Sand- und Sandsteinkegel und ihre Bedeutung als Litoralgebilde“ befindet sich in der „Geologischen Rundschau“ im Druck.

beim Setzen von Fichten aus dem Waldboden aufgenommen worden waren. Sie liegt auf dem Messtischblatt Gladenbach, nur wenig westlich der Höhe 339,2 m (in der Lokalsprache als „Der Speicher“ bezeichnet nach frdl. Mitteilung des Herrn Geiger) unweit Rollshausen südlich der Strasse Rollshausen—Lohra. Ich habe hier nun Pfingsten eine kleine Aufgrabung vornehmen lassen, da es darauf ankam, die Stücke im Anstehenden zu sehen und die Orientierung der Kegel festzustellen. Die Höhe des „Speicher“ besteht aus Unterdevon und zwar wahrscheinlich aus Untercoblenz-Schichten.[1]) Ihre Tektonik ist, wie Walther betonte, eine sehr verwickelte. Auf jeden Fall liegen aber in dem für uns allein in Betracht kommenden westlichen Teile gegen die Strasse Rollshausen—Altenvers zu die Schichten nicht überkippt, da mit nicht besonders steilem südsüdöstlichen Einfallen über den fossilführenden Untercoblenzschichten die „Haliseritenschiefer“ der Obercoblenzschichten folgen, deren Gesteinsserie nach oben normal[2]) in mitteldevonische Schiefer übergeht. Meine Aufgrabungen haben nun nicht nur weiteres Material dieser eigenartig texturierten Sandsteinschichten zu Tage gefördert, sondern auch, nachdem die obere schon mehrfach durchwühlte und mit einzelnen Kegeln in allen möglichen Orientierungen durchsetzte Bodenschicht beseitigt war, gezeigt, dass die Platten sehr wenig geneigt etwa nach Süden einfallen und die Kegel mit ihren Spitzen nach abwärts gerichtet sind. Die Kegel bezeichnen also die Liegendschichtfläche des Gesteins. Die Oberseite ist in den meisten Fällen mit Trichterbildungen besetzt, welche durch die leichte Absonderung der einzelnen Kegelschalen von einander entstanden zu denken sind. Alle diese Kegel wiederholen immer

1) K. Walther. Das Unterdevon zwischen Marburg a. L. und Herborn (Nassau). Inaugural-Dissertation Marburg 1903. Neues Jahrb. f. Mineralogie u. s. w. Beil. Bd. XVII. p. 13. 21.

2) Hier könnte allenfalls eine unbedeutende Störung angenommen werden.

wieder ein und dieselbe Form, und sie tragen dort, wo sie unbeschädigt vorliegen, eine zitzenförmig ausgezogene Spitze, die Veranlassung dazu gegeben hat, dass die ersten Finder dieser Stücke, Waldarbeiter, die Fichten setzten, sie als „Sickelsteine“ (von Saugen) bezeichneten. Ich habe nun verschiedene dieser „Sickelsteine“ in der Achse durchsägen und die Schnittflächen anpolieren lassen. Hierdurch hat sich mit voller Klarheit der texturelle Aufbau aus einzelnen 2 bis 4 mm dicken Sandsteinschalen ergeben, die einen ganz schwachen Unterschied in der Färbung und auch wohl im Porenvolumen und im Grade der Erhärtung zeigen, da sie verschieden stark anpoliert worden sind. Ich verzichte hier auf die Angabe der genauen Masse, die an anderer Stelle [1]) gegeben werden sollen. Grössenverhältnisse, Textur und Form sind denen der rezenten Bildungen durchaus ähnlich, und solange ich keine bessere Deutung weiss, muss ich eine gleiche Entstehung für beide annehmen. Auch die Wechsellagerung von Schichten verschiedenen Porenvolumens und damit verschiedener Wasseraufsaugungsfähigkeit scheint für unser devonisches Vorkommnis zuzutreffen. Jedenfalls zeigt die Oberfläche der zuerst in unser Museum gekommenen und schönsten Platte Reste von Tonschiefersubstanz, welche wohl die Rolle der feinkörnigeren Lagen in dem rezenten Falle gespielt hat. Um aber festzustellen, ob eventuell auch Wellenfurchen bei der Entstehung der devonischen Kegel mit im Spiele waren, habe ich besonders auch auf Stücke mit ebener, unverletzter „Basis“ der Kegel geachtet, aber nur ein solches Stück durch Herrn Geiger erhalten. Zur Entscheidung dieser Frage trägt es nicht bei. Mit etwas Phantasie könnte man auf einer Sandsteinplatte, die ich aus dem unmittelbaren Hangenden der Kegelschicht entnahm, Wellenfurchen entdecken. Aber ein sicheres Urteil würde erst die Freilegung eines grösseren Teiles der Schichtfläche,

1) s. Anm. 2 auf S. 52.

als es bisher möglich war, erlauben. Mögen Wellenfurchen also fehlen oder nicht, auf alle Fälle zeigt die Platte aus dem Hangenden eine sehr unregelmässige Oberfläche mit einzelnen Vertiefungen, und es ist klar, dass solche das Einsickern von Feuchtigkeit von bestimmten Punkten aus noch eher begünstigen müssen, als ein System von Wellenfurchen.

Ist aber meine Deutung der devonischen Kegelbildungen richtig, so ergibt sich die für unsere Gegend völlig neue paläogeographisch wichtige Folgerung, dass zur Zeit des jüngeren Unterdevon, wenn auch ganz lokal und nur für kurze Zeit, eine sandige Untiefe so weit aus dem Meere emporragte[1]), dass der Sand trocknen und durch Einsickern von Wasser, sei es infolge kurzer Ueberflutung durch das Meer, sei es infolge von Regengüssen, zu der Form von Sandkegeln zusammentreten konnte. Allerdings würde hierbei die weitere Hilfsannahme zu machen sein, dass diese Untiefe sehr schnell versunken wäre und die Sandkegel von neuem Sediment eingedeckt wurden, bevor sie der Zerstörung durch die Brandungswelle anheim fallen konnten. Doch muss ohnehin ein Sinken des Meeresbodens beim Uebergang von der Unter- zur Mitteldevonzeit angenommen werden, an welcher Grenze sich ja der Uebergang von der neritischen zur bathyalen Fazies vollzieht. Vielleicht erklärt sich durch meine Deutung der Erscheinung auch das völlige Fehlen jeglicher Fossilien in diesen Kegellagen. Jedenfalls wird bei künftigen Untersuchungen in unserem Unterdevon, von dem wir trotz der sorgfältigen Arbeit K. Walthers doch nur recht Lückenhaftes wissen, auf weitere Anzeichen solcher paläogeographisch interessanter Ereignisse zu achten sein, um so mehr als sich schon aus allgemein-faziellen Verhältnissen dieser Schichtenfolge für unsere Gegend die Nähe der Küste folgern lässt.

1) Solche zeitweise über den Meeresspiegel hervorragende Sandbänke entstehen noch heute häufig an unseren Küsten, ohne dass hierfür Hebung des Meeresbodens angenommen werden müsste.

Hierauf sprach Herr A. Lohmann über:

## Das Elektrokardiogramm des Menschen bei direkter künstlicher Reizung des linken Ventrikels.

Infolge der fundamentalen Bedeutung, die das Elektrokardiogramm sowohl für die Physiologie des Herzens als auch für die Beurteilung von Herzkrankheiten erlangt hat, sind in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungen angestellt, um das komplizierte Bild möglichst in allen Einzelheiten zu deuten.

Insbesondere sind an freigelegten Säugetierherzen durch künstliche Reizung einzelner Punkte der Ventrikel Extrasystolen hervorgerufen. Man hat von diesen Elektrokardiogramme erhalten, die wesentlich von den normalen abweichen, die untereinander aber ein ganz gesetzmässiges Verhalten zeigen, sodass man aus der Form des Elektrokardiogrammes auf den Punkt im Herzen schliessen zu können glaubt, von dem die Extrasystolen oder abnormen Ventrikelschläge ausgehen.

Es bot sich mir nun die Gelegenheit, die im Tierexperiment gefundenen Resultate z. T. am lebenden Menschen nachzuprüfen.

Bei einem Patienten war vor längeren Jahren von der linken Thoraxhälfte ein sehr grosser Teil angeblich infolge eines eifrigen Prozesses in der Brusthöhle operativ beseitigt. Der Defekt nahm die ganzen linken seitlichen, unteren Partieen ein und war anscheinend nur mit Haut gedeckt, sodass man jetzt deutlich von der linken Seite her das Herz pulsieren sehen und fühlen konnte. Den topographischen Verhältnissen nach lag die Wand des linken Ventrikels unmittelbar unter der Hautdecke.

Es gelang nun sehr leicht, durch einen leichten Schlag mit einem Perkussionshammer auf die Gegend über dem linken Ventrikel eine Extrasystole hervorzurufen.

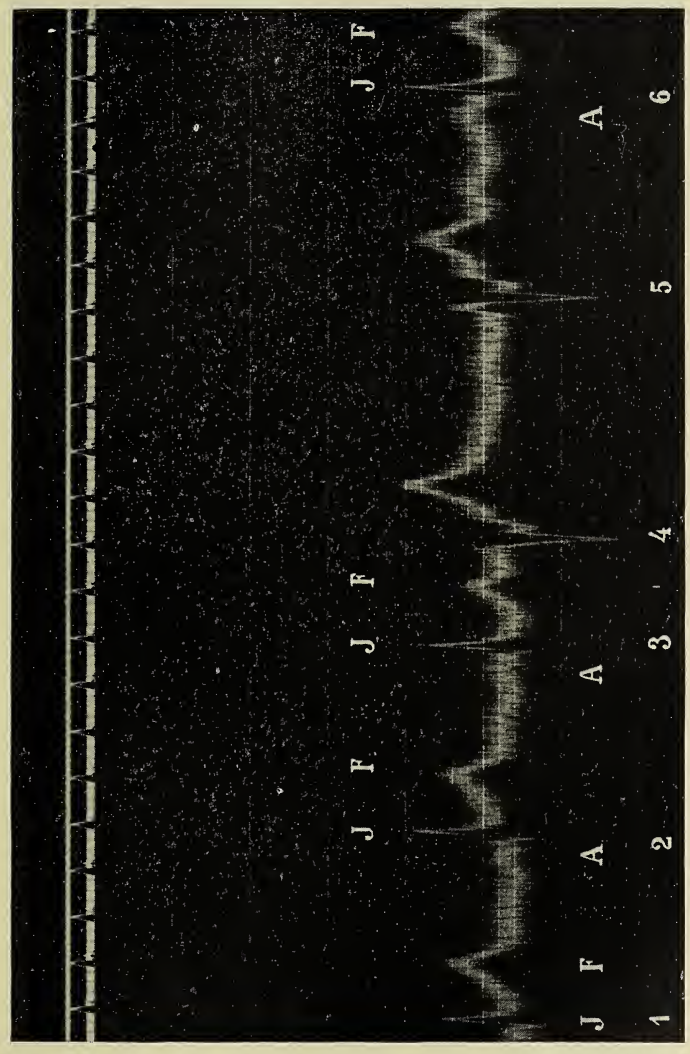



Fig. 1

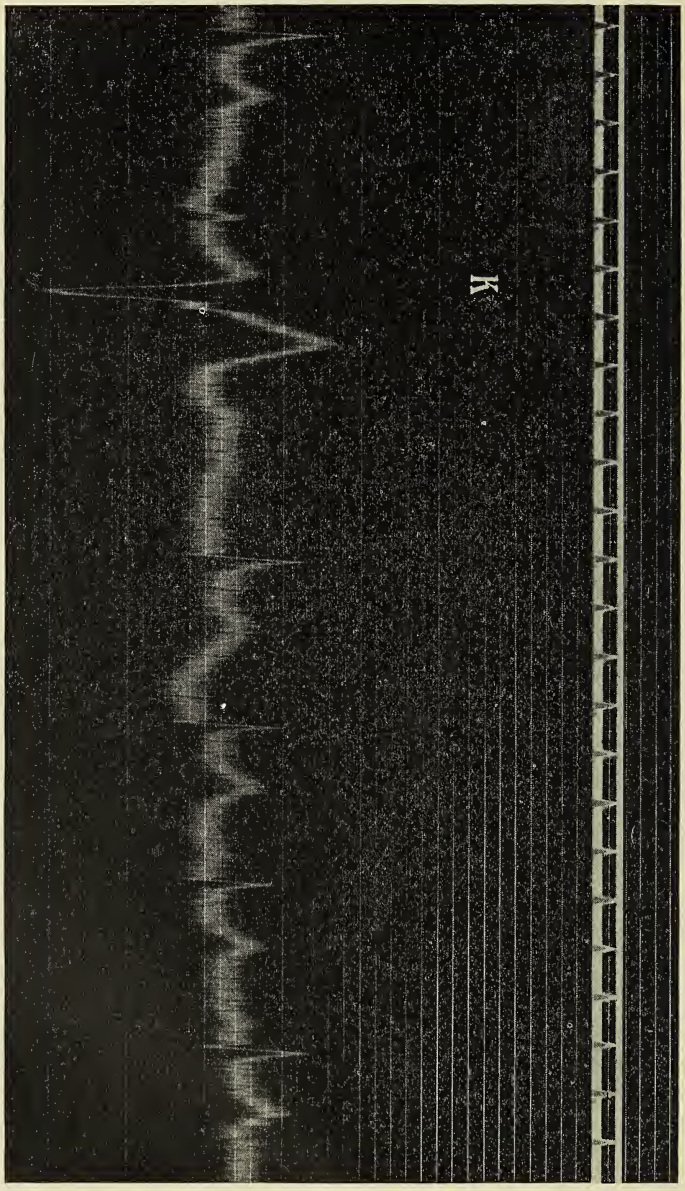



Fig. 2.

Es wurde daher ein Elektrokardiogramm mittelst des Saitengalvanometers unter Ableitung von den beiden Händen aufgenommen, und während des Registrierens wurden durch Klopfen auf den linken Ventrikel Extrasystolen ausgelöst.

Der Effekt in der Kurve entsprach ganz den Bildern, wie man sie bei direkter künstlicher Reizung des linken Ventrikels beim freigelegten Säugetierherzen erhalten hatte.

Die Fig. 1 und 2 mögen als Belege dienen. In Fig. 1 sehen wir bei 1, 2, 3 und 6 normale Herzschläge. Durch zweimaliges Klopfen wurden die beiden Extrasystolen 4 und 5 erzielt. Ein ähnliches Bild gibt Fig. 2. Es wurde hier bei *K* durch einen Schlag mit dem Perkussionshammer die sehr schön in die Erscheinung tretende abnorme Ventrikelkontraction ausgelöst.

Derselbe, oder ein ganz ähnlicher Effekt trat jedesmal ein, wenn eine Extrasystole durch Klopfen zustande kam.

[Eingegangen am 11. 5. 12.]

Aufgelegte Schriften:

Verh. geol. Reichsanstalt Wien. 1910. Nr. 13—16.
Ann. naturf. Hofmuseums Wien. 23 Bd. Sonderabdruck. 1909, p. 1—50.
Schriften d. Ver. zur Verbr. naturw. Kenntn. Wien. 50 Bd. Jahrgang 1909—10 und Jubiläumsfestschrift 1860—1910. Wien 1910.
Leopoldina. Bd. 46, Heft 11, 12. 1910 u. 47, 1, 2, 1911. Wien 1910—11.
Naturw. Ver. zu Düsseldorf, Festschrift 1884—1909. Düsseldorf 1910.
Mitt. d. Pollichia zu Dürkheim, Pfalz. 46. Jahrg. 1909.
Verh. natur. Ver. Rheinld., Westf. Jahrg. 66, 2. Hälfte, Bonn 1910.
Dgl. Sitzungsber. 1909. 2. Hälfte. Bonn 1910.
Verh. natur. medizin. Ver. zu Heidelberg, Neue Folge. 1. Bd. 1. Heft. Heidelbg. 1910.
Mitt. d. Ver. f. Naturk. städt. Mus. z. Krefeld. 1910.
Sitz. Ber. naturw. Ges. Isis, Dresden. 1910.
Zeitschr. f. wiss. Insektenbiologie, Schöneberg, Berlin. Bd. VI, 11, 12, VII, 1. Berl. 1910—11.
36.—39. Jahrg. Ber. d. Ver. f. Naturk. z. Zwickau. Zwickau 1910.
Jahreshefte d. naturw. Vereins Lüneburg. 18. Bd. 1910.
38. Jahrg. Ber. westf. Prov. Ver. f. Wiss. u. Kunst. Münster 1910.
Verh. naturw. Ver. z. Hamburg. 3. Folge, 17. Hamburg 1910.
Ber. naturf. Ges. Freiburg i. Br. 18. Bd. 2. Heft. Freiburg 1911.
Ber. Senckenbg. naturf. Ges. 41, 3, 4, 1910. Frankfurt a. M.
Abh. Senckenberg. naturf. Ges. Bd. 31, Heft 1. Bd. 33, Heft 1—3. Frankfurt 1910.
Abh. a. d. Gebiet d. Naturw. Nat. Ver. Hamburg. Bd. XIX. Heft 3—4.
Entomolog. Tidskrift. Jahrg. 31, Heft 1—4. Upsala 1910.
Tromsö Museums Aarshefter 31—32. 1908—1909, und Aarsberetning dazu.
Arkiv för Botanik 10, 1. 1910. Upsala.
Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi, 3, 6 und 4, 1. 1911. Ebd.
Arkiv för Matematik etc. 6, 2 und 3. 1910. Ebd.
Arkiv för Zoologi. 7, 1. 1911. Ebd.
Till Kungl. Wetenskaps-Societeten. 200jähr. Jubiläum d. Univ. Upsala 1910.
Archives d. Musée Teyler, Ser. II. Vol. XII. Haarlem 1910.
Oberv. meteorolog. Observatory at Batavia. Vol. XXX. 1907. Batavia 1910. Dazu Appendix I und II. Ebenda 1909 und Utrecht 1910.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 5 Juli 1912


Es trug Herr F. Richarz in der Sitzung vom 10. Juli 1912 vor:

### Ueber Erweiterungen und Bestätigungen seiner Erklärung des Lichtmaximums beim Brockengespenst und um den Korbschatten eines Ballons.

In der Januarsitzung wurde ein neues Erklärungsprinzip vorgetragen für das Intensitätsmaximum des aus einer Nebelschicht in der Bestrahlungsrichtung reflektierten Lichtes auch für den Fall, dass diese Richtung gegen die Grenze der Nebelschicht geneigt ist. Die Annahme dieses Intensitätsmaximums war erforderlich zur Erklärung der um den Kopfschatten beim Brockengespenst im weiteren Sinne und um den Korbschatten eines Ballons auf einer horizontalen Wolkengrenze entstehenden Beugungsringe. Ich hatte damals schon erwähnt, dass, wenn mein Erklärungsprinzip richtig sei, dieses Intensitätsmaximum um den Korbschatten auch dann sichtbar sein müsse, wenn die Beugungsringe nicht entstünden, also in denjenigen Fällen, in denen die Nebelteilchen nicht überwiegend gleichgross sind. Damals konnte ich nur anführen, dass Herr Dr. W. Bieber auf der Fahrt des Ballon „Marburg“ am 20. Oktober 1911 dieses Intensitätsmaximum wahrgenommen hatte. Inzwischen sind mir derartige Beobachtungen

mehrfach von anderen Seiten mitgeteilt worden. Dies habe ich in dem Wiederabdruck der Mitteilung in der „Meteorologischen Zeitschrift“, Heft 6, 1912, pag. 284, auch bereits erwähnt.

Das Prinzip meiner Erklärung ist folgendes: Für das in den Nebel hineindringende Licht verdecken sich die Teilchen zum Teil gegenseitig. (cf. Fig. 1, Sitz.-Ber. Nr. 1, 10. Januar 1912, pag. 4.) Ebenso würden auch für irgend eine Blickrichtung sich Teilchen gegenseitig verdecken. Die Schwächung des in irgend einer Richtung erblickten, von dem Nebel reflektierten Lichtes setzt sich daher zusammen aus der Schwächung durch die gegenseitige Verdeckung beim Eindringen und durch die gegenseitige Verdeckung beim Herausdringen. Stimmen diese beiden Richtungen überein, so kommen für den Fall der Zurückwerfung in der umgekehrten Richtung des Hineindringens keine neuen gegenseitigen Verdeckungen von Teilchen mehr hinzu, sodass ersichtlich in dieser Richtung ein Maximum der Intensität des reflektierten Lichtes eintritt. Diese Erklärung stimmt im Prinzip überein mit derjenigen Seeligers für die eigentümlichen Intensitätsverhältnisse des von den Saturnringen reflektierten Lichtes.

Herr Dr. A. Wigand hat mir mitgeteilt, dass er im Juli 1911 ein Intensitätsmaximum um den Korbschatten eines Ballons beobachtet und auch photographiert hat, wenn dieser Schatten auf einen Nadelholzwald fiel. Auch dieses ist im Prinzip ebenso zu erklären, wie bei einer Nebelgrenze. Die gegenseitige Verdeckung der Nadeln spielt dann ganz dieselbe Rolle wie diejenige der Tröpfchen beim Nebel. Ferner hat Herr Wigand mich auch darauf aufmerksam gemacht, dass ein solches Helligkeitsmaximum schon unbeachtet und unerklärt an allgemein zugänglicher Stelle publizirt ist, nämlich in Mehls „Freiballon“, Bd. I, p. 91, Aufnahme von A. Dierlamm Stuttgart.

Bei seiner Fahrt mit dem Ballon „Marburg“ am Sonntag, den 23. Juni 1912, hat Herr Dr. Stuchtey ein streifenförmiges Intensitätsmaximum um den Korbschatten bemerkt, welches

sich in einer durch Korb und Korbschatten gelegten Vertikalebene erstreckte. Da ferner hierbei der Korbschatten auf ein Getreidefeld fiel, schien mir die Erklärungsmöglichkeit gegeben in einer Erweiterung meines Prinzips des Intensitätsmaximums. Die sich gegenseitig verdeckenden Teile waren jetzt die vertikal gestellten Halme. Man braucht sich in der Figur 1 auf Seite 4 (Sitzungs-Ber. Nr. 1, 10. Januar 1912) die schattenwerfenden Teilchen nur senkrecht zur Ebene der Zeichnung geradlinig erstreckt zu denken, um folgendes zu erkennen: Ein Intensitätsmaximum für das reflektierte Licht findet für jede Blickrichtung statt, die mit der Richtung des einfallenden Lichtes und der Längsrichtung der Halme in einer Ebene liegt. Um die Richtigkeit dieser Erweiterung meines Erklärungsprinzips zu prüfen, habe ich die Herstellung eines künstlichen Kornfeldes aus Fäden angeregt, welches ebenso wie seine bezüglichen photographischen Aufnahmen Herr Dr. Stuchtey Ihnen nunmehr vorführen wird.

---

Hierauf zeigte und besprach Herr K. Stuchtey seine

## Aufnahmen von hellen Ringen und Säulen um den Ballonschatten und deren künstliche Nachbildung.

Ich möchte Ihnen über die oben erwähnten Beobachtungen an Ballonschatten berichten, welche gelegentlich einer am 23. Juni von dem Hessischen Verein für Luftfahrt von Marburg aus veranstalteten Ballonfahrt gemacht wurden. (Führer: Dr. Karl Stuchtey; Mitfahrer: Dr. F. Jentzsch-Wetzlar, Lehrer Mittelmann-Banfe, Dr. G. Mylius-Marburg.)

Der Ballon hielt sich die ersten Stunden in kleinen Höhen von 500 bis 1000 Metern, später in grösseren Höhen von ca. 2000 Metern; er landete nach fast 10stündiger Fahrt einige Kilometer nördlich von Bremervörde. Der Himmel war während der ganzen Fahrt, bis auf eine schwache Cumulusbildung im Westen während der Mittagstunden wolkenlos, so

dass sich der Ballonschatten auf dem Erdboden sehr gut ausbilden konnte. In der Nacht vor der Fahrt hatte es stark getaut; vor der Abfahrt des Ballons um $^1/_2$7 Uhr morgens war das Gras auf dem Korbplatz noch sehr nass. Wegen des starken Taufalls in der Nacht werden auch die Felder und Wälder, welche überflogen wurden, noch mehrere Stunden, in denen wir unsere Beobachtungen anstellten, von Tautröpfchen besät gewesen sein. Während der ersten Stunden der Fahrt, als der Ballon sich noch in kleinen und mittleren Höhen bewegte, hatten wir Gelegenheit sehr interessante Ballonschatten zu beobachten, in deren Umgebung gewisse Partien durch sehr starke, manchmal glänzende Helligkeiten auffielen. Es gelang mir, einige photographische Aufnahmen dieser Erscheinungen zu gewinnen, welche ich im Lichtbilde vorführe. Die Tautröpfchen mögen in der von Lommel und Pernter[1]) angegebenen Weise mit zu diesen Erscheinungen beigetragen und sie verstärkt haben; sie können aber unmöglich die Ursache allein gewesen sein. Die Helligkeitsmaxima lassen sich teils nach der schon früher von Herrn Prof. Richarz aufgestellten Theorie erklären, teils gaben sie Herrn Prof. Richarz Veranlassung, diese Theorie wie soeben vorgetragen, zu erweitern. (Es werden zwei Photographien von Ballonschatten gezeigt; die eine ist aus einer Höhe von ca. 400 m, die andere aus einer Höhe von 900 m gewonnen.) Im folgenden sei die Art und das Auftreten der Helligkeitsmaxima näher beschrieben. Zu allen Zeiten war der Ballonschatten — in kleineren Höhen sieht man noch den Schatten des Ballons und den Korbschatten getrennt — umgeben von einem hellglänzenden breiten nichtfarbigen Saum. Die Helligkeit ist am grössten an der Grenze des Halbschattens, um nach aussen zu schnell abzufallen. Der ringförmige Saum um den Ballonschatten trat immer auf, ganz gleichgültig, ob der Schatten auf die Baumkronen des Waldes oder auf Wiesen

1) J. M. Pernter, Meteorolog. Optik 1902, pag. 479—482.

oder auf bebaute Felder fiel. Diese Helligkeit lässt sich nach der Theorie von Herrn Prof. Richarz ganz allgemein erklären, wenn man statt der dort zu Grunde gelegten Wolkenoberfläche mit den einzelnen Nebeltröpfchen hier die unregelmässig gerichteten Zweige und Blätter der Baumkronen und die nach allen Richtungen gestellten Blätter und Aehren der Halme der Vegetationsflächen als reflektierende Teilchen betrachtet. Auch hier wird von dem aus der Tiefe heraus nach allen Seiten reflektierten Licht ein Maximum in das Auge des Beobachters fallen, wenn Strahlenrichtung des einfallenden Lichtes und Blickrichtung möglichst übereinstimmen. Das ist am meisten der Fall für die Stellen direkt um den Ballonschatten, trifft aber immer weniger zu für alle die Stellen, welche weiter von dem Schatten entfernt liegen. Dieses Helligkeitsmaximum um den Ballonschatten, welcher auf Wälder oder Felder fällt, ist bisher noch nicht beachtet, jedenfalls noch nicht beschrieben worden. Es wird gewöhnlich auch wegen des geringen Reflexionsvermögens der Vegetationsflächen nur schwach zu sehen sein; beträgt doch die Albedo von Laubwald nur 4—8 %, von grünen Feldern nur 13—15 % [vgl.: Die Albedo der Wolken und der Erde von K. Stuchtey und A. Wegener. Aus den Göttinger Nachrichten d. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Mathem.-Physikal. Kl. 1911]. In unserem Fall trat es wegen der Betauung der Felder besonders stark hervor. Nach meiner Meinung ist durch die Betauung nur das Reflexionsvermögen erhöht, nicht aber ist sie, wie Lommel und Pernter annehmen, die Ursache; denn die Helligkeit tritt auch ohne Betauung auf.

Neben dieser den Schatten gleichmässig umgebenden Helligkeit, welche auf den beiden gezeigten Photographien zu sehen ist, wurde noch zeitweise eine Verlängerung der Helligkeit nach einer Richtung hin beobachtet. Auf der einen der gezeigten Photographien sieht man sehr deutlich einen hellen Streifen senkrecht unterhalb des Ballonschattens (entsprechend einer Ausdehnung von etwa 4 Ballonschatten-

durchmessern). Gelegentlich war auch während der Fahrt ein heller Streifen oberhalb des Schattens zu sehen, jedoch war er nie so hell, wie der vorbeschriebene Streifen. Dies kann zum Teil dadurch erklärbar sein, dass der Korbschatten die eigentliche Mitte der Erscheinung bildet. Oft auch erstreckte sich dieser helle Streifen etwas geneigt nach rechts oder links unten von dem Ballonschatten. So erkennt man auf der ersten der gezeigten Photographien, wie das Helligkeitsmaximum nach links unten gerichtet ist über eine Strecke von etwa 2 Ballonschattendurchmessern. Es wurde während der Beobachtungen festgestellt, dass diese säulenförmigen Helligkeitsmaxima sich nur ausbildeten, wenn der Schatten des Ballons auf Getreidefelder fiel. Diese Erscheinungen gaben Herrn Prof. Richarz Veranlassung, seine früher aufgestellte Theorie zu erweitern und sie genügt nunmehr in der Tat, um auch diese säulenförmigen Helligkeitsmaxima in der Nähe des Ballonschattens zu erklären: Besonders bei Getreidefeldern haben fast alle Halme eine gleichmässige Neigung gegen die Erde. Stehen die Halme noch senkrecht oder liegen sie so, dass sie von dem Beobachter weg oder auf ihn zu in der durch die Richtung Ballon—Ballonschatten gegebenen Vertikalebene geneigt sind, so erhalten wir eine Lichtsäule, senkrecht oberhalb und unterhalb des Ballonschattens. Sind die Halme aber irgendwie schräg (im wesentlichen aber unter demselben Winkel gegen die oben definierte Ebene) geneigt, so wird sich ein Helligkeitsmaximum in Richtung dieser Neigung entweder nach links unten und rechts oben, oder nach rechts unten und links oben ergeben. Dass die Lichtsäulen oberhalb des Schattens weniger gut, oft gar nicht zu sehen sind, findet wohl ausser in dem oben angeführten Grunde in der Tatsache eine Erklärung, dass die Halme zum Teil durch die nach allen Seiten geneigten Aehren — welche ja auch dicker sind als die Halme und ihre Grannen schräg zum Halm erstrecken — verdeckt werden. Dies wird um so mehr der Fall sein, je schräger man auf das Feld sieht. Dies

wiederum trifft insbesondere mehr zu für die Partien des Feldes oberhalb des Schattens als unterhalb desselben. Diese nach allen Seiten geneigten Aehren mit ihren Grannen bilden auch wohl die Veranlassung für das gleichzeitig mit den Lichtsäulen immer auftretende Helligkeitsmaximum rings um den Ballonschatten.

Die Helligkeitssäulen an dem Ballonschatten müssten immer bei Getreidefeldern vorhanden sein; aber auch ihre Intensität ist wohl gewöhnlich nicht sehr stark, so dass sie leicht übersehen werden. Erst die Betauung der Halme wird die Lichtsäulen in solchem Glanze, wie wir sie beobachteten, hervorrufen können.

Die beschriebenen und in den Photographien gezeigten Ballonschatten mit einem hellen Ring und den Helligkeitssäulen erinnern an den von Pernter in seiner Meteorologischen Optik[1]) beschriebenen Heiligenschein. Hier betrachtet man seinen eigenen Kopfschatten auf betauten Wiesen und sieht ihn umgeben von einem hellen Ring — dem Heiligenschein — und häufig beobachtet man oberhalb des Kopfes einen intensiv hellglänzenden Streifen. Nach Pernter ist diese Erscheinung der Helligkeit um den Kopfschatten immer zu beobachten auf rauhem Boden, im Korn- oder Stoppelfeld, in senkrecht stehendem Grase. Auf rauhem Boden ist die Erscheinung am schwächsten; wirklich glänzend ist die Erscheinung nur auf betauter Vegetationsfläche. Zur Erklärung des Heiligenscheins sind vielfach Theorien aufgestellt worden, doch vermögen sie nicht ganz zu befriedigen. Ich glaube, dass der Heiligenschein mit seinen Säulen am zwanglosesten durch die Theorie von Herrn Prof. Richarz erklärt werden kann. Ein besonderer Grund für diese Annahme scheint mir noch der ausdrückliche Hinweis Pernters zu sein, dass der Heiligenschein mit seiner Lichtsäule am schönsten erscheint auf Wiesen, deren Gräser gleich gross sind und gleich liegen, und auf Feldern mit kurzem gleich hohem Klee. Eine Taubildung

1) J. M. Pernter, Meteorolog. Optik 1902, pag. 424—430.

auf den Vegetationsflächen muss infolge des grösseren Reflexionsvermögens die Erscheinung glänzender werden lassen. Durch die Theorie von Herrn Prof. Richarz wäre auch das bei der Beschreibung von Heiligenscheinen oft erwähnte „Leuchten der Tropfen von innen heraus“ erklärt.

Hiernach braucht man auch nicht mehr die Heiligenscheine und die Glorien, wie es Pernter für nötig hält in der Theorie getrennt zu behandeln.[1]) Die Theorie von Herrn Prof. Richarz erklärt zunächst für beide das Auftreten eines Lichtmaximums direkt um den Schatten nach demselben Prinzip. Sind nun die reflektierenden Teilchen, wie es bei der Erscheinung der Glorien auf einer Wolke der Fall sein kann, homogen, so erhalten wir farbige Beugungsringe. Diese können natürlich bei Reflexion an Vegetationsflächen wegen der Inhomogenität der beugenden Teilchen nicht auftreten.

Die von uns am 23. Juni beobachteten und von mir photographierten Erscheinungen würde man deshalb auch kurz als Heiligenschein bezeichnen können.

Um die Richtigkeit der von Herrn Prof. Richarz aufgestellten Theorie durch das Experiment zu prüfen, wurde folgende Versuchsanordnung benutzt:

Aus Latten wurde ein Gestell von etwa 2 m Länge, ca. 1—2 m Breite und Höhe gebaut. Auf 2 Flächen waren noch je 10 Latten parallel zu einander befestigt. Ueber je zwei von diesen einander gegenüberliegenden Latten wurden Bindfäden aus Hanf geschlungen, so dass ein künstliches Aehrenfeld entstand, in welchem 20 Reihen „Halme“ sich hintereinander befanden. Die „Halme“ in jeder Reihe hatten eine Entfernung von etwa 1—2 cm von einander.

Eine Bogenlampe (ohne Kondensor) in etwa 8 m angebracht, beleuchtete das „Kornfeld“. Zunächst wurde das Gestell derart aufgebaut, dass die Fäden senkrecht standen. Stellt man sich nun so zwischen Lampe und Gestell, dass der Kopfschatten des Beobachters auf das Gestell fällt, dann

1) l. c., pag. 424.

sieht man oberhalb des Kopfschattens eine Lichtsäule, etwa halb so breit wie der Kopfschatten, sich in Richtung der Körperachse erstrecken. Deutlicher für das Auge wird die Erscheinung, wenn man den Kopf nach rechts und links bewegt. Hierbei bemerkt man dann auch leicht, dass sich die Lichtsäule aus zwei Einzelsäulen zusammensetzt, von denen sich je eine Säule über jedem Auge befindet. Dieses ist nach der Theorie auch zu fordern; denn jedes Auge sieht in derjenigen Richtung ein Maximum der Helligkeit, in welcher Einfallsrichtung des Lichts und Blickrichtung für dieses Auge am besten zusammenfallen. Schliesst man das rechte Auge, so sieht man nur eine schmale Säule über dem linken Auge; schliesst man das linke Auge, so sieht man die Lichtsäule nur über dem rechten Auge.

Wird nun das Gestell so gedreht, dass die Fäden horizontal liegen, so erkennt man — besonders leicht beim Heben und Senken des Kopfes bemerkbar — wie sich in der Höhe der Schläfen am Kopfschatten ein Lichtstreifen nach rechts und links hinzieht. Dieser Streifen ist natürlich auch noch zu sehen, wenn der Kopfschatten des Beobachters nicht mehr auf das Gestell fällt; allerdings darf sich der Beobachter nicht zu weit aus der Richtung Lampe—Gestell entfernen, wenn das Helligkeitsmaximum noch kräftig sein soll. Bei Neigung des Gestells um eine horizontale, zur Fadenrichtung senkrechte Achse dreht sich auch der Lichtstreifen. Er bleibt immer parallel den Fäden, — der Halmrichtung beim Getreidefeld.

Auch bei einer weiteren Drehung aus der letzten Lage um eine vertikale Achse bleibt der helle Lichtstreif bestehen; hierbei ist also die Einfallsrichtung des Lichtes nicht mehr senkrecht zur Fadenrichtung. Man kann dem Gestell eine Lage geben, wie man will, immer beobachtet man einen hellen Streifen in Richtung der Fäden. Ueberall da, wo Einfallsrichtung des Strahls und Blickrichtung am besten zusammenfallen, wo also die Fäden den Eintritt des Lichtes und den Austritt des Lichtes nach der Reflexion am wenigsten

verhindern können, erhalten wir ein Maximum von reflektiertem Licht in unser Auge; wir sehen eine Stelle, welche sich durch grössere Helligkeit auszeichnet als ihre Umgebung, bei der die genannten Bedingungen weniger erfüllt sind.

Dieser Versuch mit dem künstlichen Aehrenfeld bestätigt vollauf die erweiterte Theorie von Herrn Prof. Richarz. Da diese erweiterte Theorie aus der früheren abgeleitet ist, so ist damit auch diese bestätigt, was direkt experimentell schwieriger ausführbar sein dürfte.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 6 August 1912


In der Sitzung vom 14. August 1912 sprach Herr Arthur Schwantke über:

### Eine neue Methode zur graphischen Darstellung von Gesteinsanalysen.

Auf der 83. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte sowie der deutschen mineralogischen Gesellschaft in Karlsruhe 1911 wurde vom Verfasser eine neue Methode vorgetragen, die es ermöglicht, die bisher übliche Dreiecksprojektion, die uns die graphische Darstellung von 3 Grössen mit konstanter Summe gestattet, auf 6 (eventuell auch auf 9) Grössen auszudehnen. Bezüglich der Anwendbarkeit für einen allgemeinen Gebrauch wurden damals seitens der Fachgenossen Bedenken geäussert, nach denen die Methode im Vergleich zu der bisherigen Dreiecksprojektion zu kompliziert erschien. Der Verfasser zog es daher vor, dieselbe erst noch im eigenen Gebrauch zu erproben und noch einmal darüber zu berichten. Da es ihm nicht möglich war, die diesjährige Versammlung in Münster zu besuchen, so ist er der Marburger Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu besonderem Dank verpflichtet, dass sie es ihm ermöglicht, seinen Bericht zum Abdruck zu bringen und durch die beigegebenen Figuren zu erläutern. Die allgemeine

Anwendbarkeit der Methode hofft der Verfasser noch später an anderer Stelle darzutun, zunächst möge die im nachstehenden an dem Beispiel der kristallinen Schiefer erläuterte Methode zur Darstellung von 5 Grössen mit konstanter Summe (= 100) und Verschiebung des inneren Dreiecks längs einer Seite den Fachgenossen für alle die Fälle, in denen man mit der Projektion nach Osann nicht mehr auskommt, angelegentlich empfohlen sein.

Diese zuletzt erwähnte Art der Dreiecksprojektion ist zur Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Eruptivgesteine ersonnen und dafür vom grössten Nutzen, so dass sie heute allgemein angewendet und bekannt ist. Wir dürfen aber nicht vergessen, dass die Möglichkeit, hier mit 3 Grössen auszukommen, auf der ganz besonderen Verknüpfung der chemischen Komponenten in den Eruptivgesteinen beruht worin die Tonerde im wesentlichen an Alkalien und Kalk gebunden ist. Infolgedessen können wir die chemische Zusammensetzung der Analyse darstellen durch die 3 Grössen $A$ = Alkalien, $C$ = soviel Kalk, wie notwendig ist, um den nach Abzug der molekularen Menge $A$ von der Gesamtmenge der Tonerde verbleibenden Rest gleichfalls im Verhältnis 1:1 zu binden, und drittens $F$ = Rest von $CaO + MgO + FeO$. Auch die Kieselsäure würde damit dargestellt sein, wenn ihre molekulare Menge der aus der Zusammensetzung der Hauptmineralien folgenden Zahl $6\,A + 2\,Ca + F$ entspräche. Das ist aber auch bei Abwesenheit von Ueberschuss als Quarz nicht immer annähernd der Fall. Wollen wir auch die Menge der Kieselsäure gleichzeitig übersehen, so sind wir neben der Projektion von $A$, $C$ und $F$ noch auf gleichzeitige Angabe einer Zahl angewiesen. Wollen wir auch diese gleichzeitig graphisch auf irgend eine Weise zur Darstellung bringen, so wird dadurch die Projektion nicht weniger kompliziert, wie die nachstehend mitgeteilte Projektionsart, die gleichzeitig auch die genaue Menge der Tonerde angibt.

Die bisherige Dreiecksprojektion beruht auf der Eigenschaft des gleichseitigen Dreiecks, dass die Summe der von irgend einem Punkte auf die 3 Seiten gefällten Lote konstant und gleich der Höhe des Dreiecks selbst ist. Es lässt sich nun aus einer Zeichnung sehr leicht entnehmen, dass auch die Summe der Abstände der entsprechenden Seiten von einander konstant sein muss, wenn ich ein kleineres gleichseitiges Dreieck im Innern eines grösseren beliebig so verschiebe, dass die Seiten beider Dreiecke immer parallel bleiben. Nenne ich nämlich die Abstände $R$, $S$, $T$, die Höhe des grossen Dreiecks $H$, die des kleinen $h$, so sind die 3 vom Mittelpunkt des kleinen Dreiecks auf die Seiten des grossen Dreiecks gefällten Lote $\frac{h}{3}+R$, $\frac{h}{3}+S$, $\frac{h}{3}+T$ und da sie zugleich als 3 Lote im grossen Dreieck die konstante Summe $H$ besitzen, so ist $\frac{h}{3}+R+\frac{h}{3}+S+\frac{h}{3}+T=H$, also $R+S+T=H-h$. Da ich nun zugleich $h$ noch ersetzen kann analog der einfachen Dreiecksprojektion durch die 3 Grössen $a+c+f$, so kann ich in der Tat jede Analyse von 6 Grössen $a+c+f+R+S+T=H=100$ eindeutig durch die beiden Dreiecke darstellen.

Damit ist aber zunächst nur eine Analyse dargestellt, denn mit $a+c+f=h$ wechselt die Grösse des innern Dreiecks. Will ich daher — und das ist der Hauptzweck einer solchen Projektion — mehrere Analysen gleichzeitig zum Vergleich darstellen, so brauche ich für jede Analyse noch eine zahlenmässige Angabe der Grösse $h$, wenn ich das äussere Dreieck konstant $H=100$, oder $H$, wenn ich das innere Dreieck konstant etwa wie Osann $h=20$ nehme. Beide Methoden sind anwendbar und eine jede hat ihre besonderen Vorteile. Verfasser wandte zuerst, von der Osannschen Projektion ausgehend, die zweite an. Man hat dann ein konstantes Dreieck mit einem dem Verhältnis $a:c:f$ entsprechenden Punkte wie gewöhnlich, wo man aber jetzt

$C = CaO$, $F = MgO + FeO$ nehmen kann. Für das Verhältnis $R : S : T$ erhält man einen Punkt, den Mittelpunkt des grossen Dreiecks, für petrographische Analysen in der Regel aussen, da man meist nur noch $S = SiO_2$ und $T = Al_2O_3$ (für besondere Fälle eventuell $= Al_2O_3 + Fe_2O_3$) nötig hat, $R$ für kalkhaltige Gesteine $= CO_2$, sonst in speziellen Fällen anderweitig zu verwenden, etwa $= H_2O$ und dergl. Für Analysen von Silikatgesteinen ist auch die erste Methode mit konstantem $H = 100$ sehr übersichtlich, namentlich wenn $R = 0$, also wenn sich das innere Dreieck nur längs der einen Seite verschiebt. Dieser Fall möge unten näher erläutert werden.

Zunächst sei aber noch einiges zum Hinweis auf die sich leicht ergebenden Einwendungen vorausgeschickt. Zuerst: Grundvoraussetzung für eine solche erweiterte Dreiecksprojektion ist natürlich die Notwendigkeit, die Abhängigkeit von mehr als 3 Grössen unabhängig nebeneinander gleichzeitig zur Darstellung zu bringen. Dass man die einfache Dreiecksprojektion auch für andere Gesteine als die Eruptivgesteine anwenden kann, wenn man die Komponenten anders gruppiert, hat in schöner und für den praktischen Gebrauch anwendbarer Weise F. Becke*) gezeigt, indem er als die 3 Komponenten wählte die Löslichen $(Ca + Na + K) = L$, die Unlöslichen $(Al + Fe + Mg) = U$ und die Kieselsäure $= Si$. Das bewährt sich z. B. zum Vergleich der chemischen Zusammensetzung der metamorphen Gesteine mit den Eruptivgesteinen durchaus. Daneben gibt es aber zahlreiche Fälle, in denen man wünscht, die einzelnen chemischen Komponenten getrennt darzustellen, und dafür reicht eine solche einfache Dreiecksprojektion nicht aus. Hier ist natürlich der zunächst liegende Gedanke der, für die 6 Grössen $A + C + F$ einerseits und $R + S + T$ andrerseits zwei Dreiecke neben

*) Eine andere sehr anschauliche Methode ist von G. Linck angewendet. Vergl. Handwörterbuch der Naturwissenschaften, 17. Band, 1912, 609 u. 616. — S. auch *B. G. Escher*. Centralbl. f. Min. etc. 1911, 133. 166. *L. Finckh*. Zeitsch. d. deutsch. geol. Ges. **62**, 1910, *284*.

einander zu wählen. Bei nur 4 Grössen können beide Dreiecke über derselben Seite errichtet sein. Jedes Dreieck stellt dann das Verhältnis der 3 Grössen richtig dar, aber zur Angabe der wahren Molekularzahlen bedarf es der Angabe des wirklichen Zahlenverhältnisses von $H : h$. Eine solche Darstellung ist also nicht einfacher als die erwähnte Projektion, die sogar in dem unten zu bezeichnenden Falle, wo $R = 0$ ist, eine Zahlenangabe von $h$ unnötig macht. Nehmen wir also noch dazu die Notwendigkeit der Angabe des Kieselsäurequotientens oder der $SiO_2$ selbst bei Osann, so können wir sagen: eine Zahlenangabe ist im allgemeinen in allen Fällen nötig und der Unterschied der einfachen und der erwähnten Projektion ist nur sehr wesentlich der, dass im ersten Falle die Analyse durch einen Punkt, im zweiten Falle durch zwei Punkte, oder, wie wir auch sagen können, im ersten Falle durch einen Punkt, im zweiten Falle durch eine Strecke dargestellt wird. Wer sich im Gebrauch der nachstehend erläuterten Projektion übt, wird vielleicht erkennen, dass damit eher ein Vorteil als ein Nachteil verbunden ist.

### Die erweiterte Dreiecksprojektion für $A$, $C$, $F$, $S$ und $T$ mit konstantem $H = 100$.

Wenn ich das äussere Dreieck für alle Analysen konstant nehme, so wechselt die Grösse des inneren; ich brauche also zur genauen Darstellung der Analysen noch die Angabe der Grösse von $h$. Als Projektionspunkte erhalte ich erstens den Punkt für $A + C + F = h$ im inneren Dreieck und zweitens den Mittelpunkt des kleinen Dreiecks im grossen. Die Koordinaten zur Zeichnung des ersteren — auf der Höhe des grossen Dreiecks, aber auch ganz wie bei der Osann'schen Projektion durch Parallelen zu den (in 100 geteilten) Seiten zu konstruieren — sind $A' = A + S$, $C' = C + T$, $F' = F + R$, wenn wir ein- für allemal die Annahme machen, dass die

Abstände des kleinen Dreiecks vom grossen in dieser Zuordnung zu den stets im Osann'schen Sinne aber als absolute Werte mit $A = Na_2O + K_2O$, $C = CaO$, $F = FeO + MgO$ gerechneten Grössen $A$, $C$ und $F$ für $S$, $T$ und $R$ gebraucht werden sollen. Die Koordinaten für den Mittelpunkt des kleinen Dreiecks sind $U = \frac{h}{3} + S$, $V = \frac{h}{3} + T$, $W = \frac{h}{3} + R$, im gleichen Sinne aufzutragen. Die Figuren werden so gezeichnet, dass in dem inneren (Osann'schen) Dreieck die Eckpunkte $A$ links, $C$ rechts, $F$ oben gedacht sind.

Das Osann'sche Dreieck zerfällt durch die Höhen in sechs Felder aus denen für die Projektionspunkte ein charakteristisches Verhältnis von $a : c : f$ leicht zu ersehen ist. Da nun mit den Seiten der beiden Dreiecke auch die Höhen stets parallel bleiben und jede Analyse durch Mittelpunkt und Basenpunkt im kleinen Dreieck dargestellt wird, so gibt die Richtung der Verbindungslinien der Projektionspunkte verglichen mit der Richtung der Höhenlinien, sofort auch die Lage des Feldes an, in dem der Basenpunkt im Osann'schen Dreieck gelegen ist.

Für die Darstellung von Analysen der Silikatgesteine vereinfacht sich diese Projektion noch dadurch, dass wir ausser den Basen $A$, $C$, $F$ nur noch Tonerde $= T$ und Kieselsäure $= S$ anzugeben haben. Dann ist also $R = O$ und es verschiebt sich das innere Dreieck nur längs der Basis des grossen. Da nun für jede Analyse der Mittelpunkt durch die Projektion gegeben ist, so ist sein vertikaler Abstand von der Grundlinie stets $= \frac{h}{3}$, und damit ist auch genau die Grösse des inneren Dreiecks für jede Analyse fest gegeben und ich kann somit aus der Projektion alle fünf Grössen $A$, $C$, $F$, S, $T$, mit ihren genauen Werten eindeutig ablesen, ohne dass es noch einer weiteren Zahlenangabe bedarf.

Für die Richtung der die beiden Projektionspunkte verbindenden Strecke ist das Auge sehr empfindlich. Wir können sie uns stets als einen fliegenden Pfeil denken, der in das Zentrum des kleinen Dreiecks hineinfliegt. Die Anzahl der Felder des Dreiecks lässt sich noch verdoppeln, wenn wir zu den Richtungen der Höhenlinien noch die Seitenrichtungen hinzunehmen.

Wenn $T$ konstant bleibt, so ist damit (bei $R = O$) der linke Eckpunkt $A$ des inneren Dreiecks auf der Grundlinie des grossen festgehalten, es kann sich also der Mittelpunkt des inneren Dreiecks nur längs der von $A$ ausgehenden Höhe $h_1$ des inneren Dreiecks verschieben, entsprechend wenn $S$ konstant ist längs der von $C$ ausgehenden Höhe $h_2$. Also: alle Mittelpunkte die demselben $T$ entsprechen liegen auf einer Parallelen zu $H_1$, für dasselbe $S$ auf einer solchen zu $H_2$. Für alle Mittelpunkte auf $H_1$ ist $T\ (= R) = O$ und $S = H - h$. Für alle unter einem solchen Punkte von $H_1$ auf der Höhe $h_3$ (parallel $H_3$) darunter liegenden Punkte nimmt $S$ um das gleichzeitig wachsende $T$ ab, also $S_x = S_{T=O} - T_x$. Die Grundlinie ist in den Fusspunkten dieser Höhenlinien $h_3$ im Verhältnis $S_{h=O} : T_{h=O}$ geteilt. Entsprechendes gilt für die Punkte auf $H_2$ durch Vertauschung von $S$ und $T$.

Für das Verhältnis der Basen, das durch die Richtung des fliegenden Pfeiles bezeichnet wird, erhält man ein einfaches Schema, wenn man die 12 Grenzlinien im Sinne des Uhrzeigers von 1 bis 12 und die Felder dazwischen im gleichen Sinne von I bis XII numeriert. Es ergeben sich dann bei einer Drehung des Pfeiles um den Mittelpunkt im Sinne des Uhrzeigers folgende 24 Fälle (vergl. Fig. 1):

$$\text{I}\quad E > \frac{h}{3} > C > A \qquad \text{II}\quad F > C > \frac{h}{3} > A$$

$$1\quad F > \frac{h}{3} = C > A \qquad 2\quad F = C > \frac{h}{3} > A$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| III | $C > F > \frac{h}{3} > A$ | VIII | $A > \frac{h}{3} > C > F$ |
| 3 | $C > F = \frac{h}{3} > A$ | 8 | $A > \frac{h}{3} > C = F$ |
| IV | $C > \frac{h}{3} > F > A$ | XI | $A > \frac{h}{3} > F > C$ |
| 4 | $C > \frac{h}{3} > F = A$ | 9 | $A > \frac{h}{3} = F > C$ |
| V | $C > \frac{h}{3} > A > F$ | X | $A > F > \frac{h}{3} > C$ |
| 5 | $C > \frac{h}{3} = A > F$ | 10 | $A = F > \frac{h}{3} > C$ |
| VI | $C > A > \frac{h}{3} > F$ | XI | $F > A > \frac{h}{3} > C$ |
| 6 | $C = A > \frac{h}{3} > F$ | 11 | $F > A = \frac{h}{3} > C$ |
| VII | $A > C > \frac{h}{3} > F$ | XII | $F > \frac{h}{3} > A > C$ |
| 7 | $A > C = \frac{h}{3} > F$ | 12 | $F > \frac{h}{3} > A = C$ |

Die beigegebenen Figuren sollen nun diese Methoden an einzelnen Beispielen erläutern. Die gleichzeitig mitgeteilten Zahlenwerte ermöglichen es, die Projektionen in grösserem Massstabe nachzuzeichnen. Die Zeichnung geschieht sehr leicht und schnell, wenn man ein von den Seiten des grossen Dreiecks aus hundertteilig gezeichnetes Netz verwendet und die beiden Punkte durch Durchstechen auf das darunter liegende Blatt, das mit dem Netz durch Reisszwecken unverschiebbar aufgeheftet bleibt, überträgt. Man muss dann nur Sorge tragen, die neu durchgestochenen Punkte einer Analyse sofort nach Aufbiegen des Netzblattes genau zu markieren. Die Pfeile sind dann leicht, wenn alles durchgestochen ist, durch Verbindung der zusammengehörenden Punkte zu zeichnen.

In Figur 2 sind zunächst die Analysen einer Reihe von Tiefengesteinen (nach H. Rosenbusch, Elemente III. Aufl.)

eingetragen (die Projektionswerte auf 0.5 abgerundet). Die Zahlen in der Figur gehen von 1—40 im Sinne der Reihenfolge der nachstehend angeführten Analysen 1—10 Granit, 11—20 Syenit, 21—30 Diorit, 31—40 Gabbro.

I. Granit (pag. 88).

| | 1b | 2 | 3b | 4b | 5b | 6 | 7b | 8b | 9b | 10b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A* | 7.0 | 7.4 | 7.1 | 5.5 | 5.9 | 7.4 | 6.9 | 6.8 | 6.6 | 5.0 |
| *C* | 1.1 | 3.1 | 1.2 | 3.5 | 4.5 | 1.9 | 3.9 | 2.5 | 0.9 | 3.0 |
| *F* | 0.0 | 2.9 | 0.8 | 6.0 | 2.7 | 6.4 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 2.5 |
| *S* | 82.1 | 75.4 | 82.0 | 77.8 | 76.4 | 74.0 | 76.2 | 79.3 | 81.0 | 80.1 |
| *T* | 9.8 | 11.2 | 8.9 | 7.2 | 10.5 | 10.3 | 10.8 | 9.4 | 9.8 | 9.4 |
| *h* | 8.1 | 13.4 | 9.1 | 15.0 | 13.1 | 15.7 | 13.0 | 11.3 | 9.2 | 10.5 |
| $\frac{h}{3}$ | 2.5 | 4.5 | 3.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 4.5 | 4.0 | 3.0 | 3.5 |
| *A'* | 89.0 | 83.0 | 89.0 | 83.5 | 82.5 | 81.5 | 83.0 | 86.0 | 87.5 | 85.0 |
| *C'* | 11.0 | 14.0 | 10.0 | 10.5 | 15.0 | 12.0 | 15.0 | 12.0 | 11.0 | 12.5 |
| *F'* | 0.0 | 3.0 | 1.0 | 6.0 | 2.5 | 6.5 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 2.5 |
| *U* | 85.0 | 80.0 | 85.0 | 83.0 | 81.0 | 79.5 | 80.5 | 83.0 | 84.0 | 83.5 |
| *V* | 12.5 | 15.5 | 12.0 | 12.0 | 15.0 | 15.5 | 15.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 |
| *W* | 2.5 | 4.5 | 3.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 4.5 | 4.0 | 3.0 | 3.5 |

II. Syenit (pag. 121).

| | 1b | 2b | 3 | 4b | 5b | 6b | 7b | 8b | 9b | 10b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A* | 7.0 | 6.0 | fehlt | 6.0 | 7.2 | 6.3 | 8.2 | 8.4 | 5.1 | 7.0 |
| *C* | 4.8 | 4.0 | | 7.2 | 5.2 | 5.1 | 5.6 | 3.1 | 5.9 | 8.8 |
| *F* | 8.7 | 14.6 | | 12.5 | 10.7 | 5.0 | 9.7 | 4.3 | 9.9 | 9.8 |
| *S* | 67.5 | 65.4 | | 62.4 | 66.0 | 68.6 | 66.5 | 72.6 | 69.6 | 59.9 |
| *T* | 12.0 | 10.0 | | 11.9 | 10.9 | 15.0 | 10.0 | 11.6 | 9.5 | 14.5 |
| *h* | 20.5 | 24.6 | | 25.7 | 23.1 | 16.4 | 23.5 | 15.8 | 20.9 | 25.6 |
| $\frac{h}{3}$ | 7.0 | 8.0 | | 8.5 | 7.5 | 5.5 | 8.0 | 5.0 | 7.0 | 8.5 |
| *A'* | 74.5 | 71.5 | | 68.5 | 73.0 | 75.0 | 75.0 | 81.0 | 74.5 | 67.0 |
| *C'* | 17.0 | 14.0 | | 19.0 | 16.0 | 20.0 | 15.5 | 14.5 | 15.5 | 23.5 |
| *F'* | 8.5 | 14.5 | | 12.5 | 11.0 | 5.0 | 9.5 | 4.5 | 10.0 | 9.5 |
| *U* | 74.5 | 74.0 | | 71.0 | 74.0 | 74.0 | 74.5 | 78.0 | 76.5 | 68.5 |
| *V* | 18.5 | 18.0 | | 20.5 | 18.5 | 20.5 | 17.5 | 17.0 | 16.5 | 23.0 |
| *W* | 7.0 | 8.0 | | 8.5 | 7.5 | 5.5 | 8.0 | 5.0 | 7.0 | 8.5 |

III. Diorit (pag. 166 und 167).

| | 1b | 2b | 3b | 4b | 5b | 6b | 7b | 8b | 9b | 10b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | 5.1 | 6.4 | 5.4 | 4.0 | 5.4 | 5.0 | 4.0 | 4.8 | 5.6 | 5.9 |
| $C$ | 3.7 | 4.2 | 9.3 | 8.2 | 5.5 | 6.1 | 8.0 | 7.6 | 8.7 | 3.7 |
| $F$ | 3.9 | 4.3 | 7.2 | 11.6 | 7.6 | 10.5 | 9.2 | 16.9 | 15.2 | 4.2 |
| $S$ | 75.2 | 74.2 | 63.9 | 64.4 | 69.8 | 66.4 | 63.7 | 59.5 | 59.8 | 76.2 |
| $T$ | 12.1 | 10.9 | 14.2 | 11.8 | 11.7 | 12.0 | 15.1 | 11.2 | 10.7 | 10.0 |
| $h$ | 12.7 | 14.9 | 21.9 | 23.8 | 18.5 | 21.6 | 21.2 | 29.3 | 29.5 | 13.8 |
| $\frac{h}{3}$ | 4.0 | 5.0 | 7.5 | 8.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 10.0 | 10.0 | 4.5 |
| $A'$ | 80.0 | 80.5 | 69.5 | 68.5 | 75.0 | 71.5 | 68.0 | 64.5 | 65.5 | 82.0 |
| $C'$ | 16.0 | 15.0 | 23.5 | 20.0 | 17.5 | 18.0 | 33.0 | 18.5 | 19.5 | 14.0 |
| $F'$ | 4.0 | 4.5 | 7.0 | 11.5 | 7.5 | 10.5 | 9.0 | 17.0 | 15.0 | 4.0 |
| $U$ | 79.5 | 79.0 | 71.0 | 72.5 | 76.0 | 74.0 | 71.0 | 69.0 | 69.5 | 81.0 |
| $V$ | 16.5 | 16.0 | 21.5 | 19.5 | 18.0 | 19.0 | 22.0 | 21.0 | 20.5 | 14.5 |
| $W$ | 4.5 | 5.0 | 7.5 | 8.0 | 6.0 | 7.0 | 7.0 | 10.0 | 10.0 | 4.5 |

IV. Gabbro (pag. 180).

| | 1b | 2b | 3b | 4b | 5b | 6b | 7b | 8b | 9b | 10b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | 4.7 | 2.6 | 3.7 | 1.9 | 2.4 | 2.1 | 2.8 | 2.2 | 1.9 | 3.8 |
| $C$ | 11.1 | 10.9 | 14.5 | 14.7 | 12.6 | 16.4 | 13.4 | 16.2 | 14.0 | 11.4 |
| $F$ | 9.7 | 19.8 | 11.6 | 12.7 | 18.7 | 15.9 | 12.2 | 20.6 | 21.7 | 14.6 |
| $S$ | 60.3 | 55.5 | 55.0 | 50.8 | 52.0 | 52.6 | 55.9 | 44.8 | 50.7 | 55.8 |
| $T$ | 14.2 | 11.2 | 15.2 | 19.9 | 14.3 | 13.0 | 15.7 | 16.2 | 11.7 | 14.4 |
| $h$ | 25.5 | 33.3 | 29.8 | 29.3 | 33.7 | 34.4 | 28.4 | 39.0 | 37.6 | 29.8 |
| $\frac{h}{3}$ | 8.5 | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 11.5 | 9.5 | 13.0 | 12.5 | 10.0 |
| $A'$ | 65.0 | 58.0 | 59.0 | 53.0 | 54.5 | 54.5 | 59.0 | 47.0 | 52.5 | 59.5 |
| $C'$ | 25.5 | 22.0 | 29.5 | 34.5 | 27.0 | 29.5 | 29.0 | 32.5 | 26.0 | 26.0 |
| $F'$ | 9.5 | 20.0 | 11.5 | 12.5 | 18.5 | 16.0 | 12.0 | 20.5 | 21.5 | 14.5 |
| $U$ | 69.0 | 66.5 | 65.0 | 60.5 | 63.5 | 64.0 | 65.5 | 58.0 | 63.5 | 65.5 |
| $V$ | 22.5 | 22.5 | 25.0 | 29.5 | 25.5 | 24.5 | 25.0 | 29.0 | 24.0 | 24.5 |
| $W$ | 8.5 | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 11.5 | 9.5 | 13.0 | 12.5 | 10.0 |

Eine Diskussion der Figur ist hier nicht beabsichtigt. Man erkennt, wie die dargestellten Eruptivgesteine eine Reihe bilden, in der besonders auch die Verwandtschaft der granitodioritischen Gesteine zu bemerken ist. Zugleich sieht man, wie die Pfeile einer Linie zustreben, die sich über die (in

der Figur gestrichelt gezeichnete) Linie der reinen Feldspatgesteine (die gleichzeitig durch den Eckpunkt für Quarz $SiO_2 = 100$ geht, weil die Punkte für Ab und An das gleiche Verhältnis $V : W$ haben) etwas erhebt. Als beste Illustration zur Anwendbarkeit der beschriebenen Methode wurde die Darstellung der Analysen kristalliner Schiefer gewählt und zwar wurden dazu die Analysen des Werkes von U. Grubenmann (Die kristallinen Schiefer, 2. Aufl. 1910) genommen, die von dem genannten Autor selbst nach der Methode von A. Osann berechnet und in Dreiecksprojektionen dargestellt sind. Auf diese Weise ist ein jeder der Fachgenossen in der Lage, die hier gegebene Darstellung mit der einfachen Dreiecksprojektion zu vergleichen. Für den praktischen Gebrauch wäre es noch besser die karbonathaltigen Gesteine mit $R = CO_2$ zu projizieren, sie unterscheiden sich dann noch besser von den reinen Silikatgesteinen. Eine Diskussion der Analysen selbst muss an dieser Stelle unterbleiben, es sollen vielmehr die Projektionen für sich selbst sprechen. Der Vergleich mit Figur 2 zeigt, dass sich nach dieser Methode die kristallinen Schiefer mit den Eruptivgesteinen vergleichen lassen, und die Projektionen der Figur 3 bis Figur 11 zeigen, wie sowohl die gemeinsamen Züge je einer Gruppe (z. B. Gruppe II und IX) als auch charakteristische Unterschiede einzelner Analysen (z. B. in Gruppe V, VII und IX) sehr schön hervortreten. Für den praktischen Gebrauch neben dem Grubenmann'schen Lehrbuche und zur Selbstanfertigung der Projektionen in grösserem Massstabe sind die aus den Zahlen dieses Buches berechneten Werte für *A, C, F, S, T, h* sowie die abgerundeten Projektionswerte *A', C', F', U, V, W* in der Reihenfolge der Gruppen mitgeteilt.

## Grubenmann: I. Gruppe. Alkalifeldspatgneise.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | 6.8 | 9.3 | 7.2 | 9.5 | 8.0 | 9.2 | 6.1 | 6.8 | 7.1 | 3.7 | 6.4 | 5.7 | 6.7 | 4.1 | 6.9 | 6.1 | 8.4 | 7.0 |
| $C$: | 1.9 | 1.7 | 1.2 | 2.8 | 0.7 | 1.3 | 4.0 | 3.3 | 1.8 | 0.1 | 2.5 | 2.1 | 0.5 | 1.0 | 2.2 | 1.1 | 1.4 | 0.7 |
| $F$: | 3.1 | 4.2 | 3.4 | 4.8 | 1.9 | 2.5 | 5.1 | 10.3 | 5.2 | 1.7 | 4.3 | 6.1 | 4.6 | 6.9 | 2.2 | 4.8 | 6.1 | 3.9 |
| $S$: | 79.4 | 75.0 | 79.1 | 66.4 | 82.0 | 73.2 | 75.6 | 69.2 | 77.2 | 86.2 | 77.7 | 79.0 | 79.2 | 80.3 | 79.4 | 80.6 | 75.4 | 78.9 |
| $T$: | 8.8 | 9.8 | 9.1 | 16.5 | 7.4 | 13.8 | 9.2 | 10.4 | 8.7 | 8.3 | 9.1 | 7.1 | 9.0 | 7.7 | 9.3 | 7.4 | 8.7 | 9.5 |
| $h$: | 11.8 | 15.2 | 11.8 | 17.1 | 10.6 | 13.0 | 15.2 | 20.4 | 14.1 | 5.5 | 13.2 | 13.9 | 11.8 | 12.0 | 11.3 | 12.0 | 15.9 | 11.6 |
| $^1/_3\,h$: | 3.9 | 5.1 | 3.9 | 5.7 | 3.5 | 4.3 | 5.1 | 6.8 | 4.7 | 1.8 | 4.4 | 4.6 | 3.9 | 4.0 | 3.8 | 4.0 | 5.3 | 3.9 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 86.0 | 84.5 | 86.0 | 76.0 | 90.0 | 82.5 | 82.0 | 76.0 | 84.5 | 90.0 | 84.0 | 85.0 | 86.0 | 84.5 | 86.5 | 86.5 | 84.0 | 86.0 |
| $C'$: | 11.0 | 11.5 | 10.5 | 19.0 | 8.0 | 15.0 | 13.0 | 13.5 | 10.5 | 8.5 | 11.5 | 9.0 | 9.5 | 8.5 | 11.5 | 8.5 | 10.0 | 10.0 |
| $F'$: | 3.0 | 4.0 | 3.5 | 5.0 | 2.0 | 2.5 | 5.0 | 10.5 | 5.0 | 1.5 | 4.5 | 6.0 | 4.5 | 7.0 | 2.0 | 5.0 | 6.0 | 4.0 |
| $U$: | 83.5 | 80.0 | 83.0 | 72.0 | 85.5 | 77.5 | 80.5 | 76.0 | 82.0 | 88.0 | 82.0 | 83.5 | 83.0 | 84.5 | 83.0 | 84.5 | 80.5 | 82.5 |
| $V$: | 12.5 | 15.0 | 13.0 | 22.0 | 11.0 | 18.0 | 14.5 | 17.0 | 13.5 | 10.0 | 13.5 | 12.0 | 13.0 | 11.5 | 13.0 | 11.5 | 14.0 | 13.5 |
| $W$: | 4.0 | 5.0 | 4.0 | 6.0 | 3.5 | 4.5 | 5.0 | 7.0 | 4.5 | 2.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 5.5 | 4.0 |

## Grubenmann: II. Gruppe. Tonerdesilikatgneise.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A*: | 5.3 | 4.7 | 4.7 | 6.2 | 2.8 | 3.4 | 4.6 | 8.1 | 6.0 | 4.4 | 3.5 | 4.8 | 5.2 | 6.0 | 4.6 | 5.4 | 5.6 | 5.1 |
| *C*: | 1.8 | 0.5 | 1.8 | 1.1 | 0.8 | 4.3 | 1.0 | 2.7 | 3.6 | 1.2 | 0.2 | 1.7 | 2.6 | 1.4 | 1.9 | 2.4 | 0.5 | 0.7 |
| *F*: | 8.7 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 11.3 | 14.1 | 7.5 | 8.9 | 16.1 | 7.9 | 7.5 | 13.4 | 20.1 | 8.0 | 10.0 | 13.3 | 11.1 | 12.8 |
| *S*: | 72.4 | 67.5 | 64.2 | 70.4 | 73.2 | 66.7 | 74.0 | 62.8 | 57.1 | 75.7 | 80.1 | 67.9 | 52.4 | 72.6 | 68.5 | 61.7 | 59.0 | 62.8 |
| *T*: | 11.8 | 16.8 | 18.7 | 11.6 | 11.9 | 11.5 | 12.9 | 17.5 | 17.2 | 10.8 | 8.7 | 12.2 | 19.7 | 12.0 | 15.0 | 17.2 | 23.8 | 18.6 |
| *h*: | 15.8 | 15.7 | 17.1 | 18.0 | 14.9 | 21.8 | 13.1 | 19.7 | 25.7 | 13.5 | 11.2 | 19.9 | 27.9 | 15.4 | 16.5 | 21.1 | 17.2 | 18.6 |
| $^1/_3h$: | 5.3 | 5.2 | 5.7 | 6.0 | 5.0 | 7.3 | 4.4 | 6.6 | 8.6 | 4.5 | 3.7 | 6.6 | 9.3 | 5.1 | 5.5 | 7.0 | 5.7 | 6.2 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A'*: | 78.0 | 72.0 | 69.0 | 76.5 | 76.0 | 70.0 | 78.5 | 71.0 | 63.0 | 80.0 | 83.5 | 72.5 | 57.5 | 78.5 | 73.0 | 67.0 | 64.5 | 68.0 |
| *C'*: | 13.5 | 17.5 | 20.5 | 13.0 | 12.5 | 16.0 | 14.0 | 20.0 | 21.0 | 12.0 | 9.0 | 14.0 | 22.5 | 13.5 | 17.0 | 19.5 | 24.5 | 19.5 |
| *F'*: | 8.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 11.5 | 14.0 | 7.5 | 9.0 | 16.0 | 8.0 | 7.5 | 13.5 | 20.0 | 8.0 | 10.0 | 13.5 | 11.0 | 12.5 |
| *U*: | 77.5 | 72.5 | 70.0 | 76.5 | 78.0 | 74.0 | 78.5 | 69.5 | 65.5 | 80.0 | 83.5 | 74.5 | 61.5 | 78.0 | 74.0 | 69.0 | 65.0 | 69.0 |
| *V*: | 17.0 | 22.0 | 24.5 | 17.5 | 17.0 | 19.0 | 17.0 | 24.0 | 26.0 | 15.5 | 12.5 | 19.0 | 29.0 | 17.0 | 20.5 | 24.0 | 29.5 | 25.0 |
| *W*: | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 6.0 | 5.0 | 7.0 | 4.5 | 6.5 | 8.5 | 4.5 | 4.0 | 6.5 | 9.5 | 5.0 | 5.5 | 7.0 | 5.5 | 6.0 |

## Grubenmann: III. Gruppe. Kalknatronfeldspatgneise.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | 3.0 | 3.6 | 5.2 | 7.1 | 5.6 | 4.6 | 5.4 | 7.0 | 5.0 | 5.6 | 5.3 | 6.8 | 5.6 | 5.5 | 4.2 | 4.2 | 6.1 | 6.3 |
| $C$: | 7.8 | 13.0 | 14.9 | 7.0 | 10.6 | 8.9 | 6.4 | 6.9 | 6.8 | 5.6 | 7.4 | 6.0 | 5.0 | 3.2 | 7.8 | 3.0 | 5.3 | 3.5 |
| $F$: | 14.7 | 5.8 | 10.7 | 11.9 | 16.6 | 14.0 | 9.1 | 14.5 | 7.1 | 8.0 | 11.5 | 12.9 | 20.9 | 9.2 | 12.8 | 4.8 | 10.2 | 6.8 |
| $S$: | 65.3 | 67.1 | 60.3 | 63.3 | 54.9 | 61.9 | 67.4 | 58.0 | 69.9 | 69.5 | 63.5 | 62.5 | 52.9 | 68.8 | 61.7 | 81.0 | 64.8 | 72.2 |
| $T$: | 9.2 | 10.5 | 8.9 | 10.7 | 12.3 | 10.6 | 11.7 | 13.6 | 11.2 | 11.3 | 12.3 | 11.8 | 15.6 | 13.3 | 13.5 | 7.0 | 13.6 | 11.2 |
| $h$: | 25.5 | 22.4 | 30.8 | 26.0 | 32.8 | 27.5 | 20.9 | 28.4 | 18.9 | 19.2 | 24.2 | 25.7 | 31.5 | 17.9 | 24.8 | 12.0 | 21.6 | 16.6 |
| $^1/_3\,h$: | 8.5 | 7.5 | 10.3 | 8.7 | 10.9 | 9.2 | 7.0 | 9.5 | 6.3 | 6.4 | 8.1 | 8.6 | 10.5 | 6.0 | 8.3 | 4.0 | 7.2 | 5.5 |



## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 68.5 | 70.5 | 65.5 | 70.5 | 60.5 | 66.5 | 73.0 | 65.0 | 75.0 | 75.0 | 69.0 | 69.0 | 58.5 | 74.5 | 66.0 | 85.0 | 71.0 | 78.5 |
| $C'$: | 17.0 | 23.5 | 24.0 | 17.5 | 23.0 | 19.5 | 18.0 | 20.5 | 18.0 | 17.0 | 19.5 | 18.0 | 20.5 | 16.5 | 21.5 | 10.0 | 19.0 | 14.5 |
| $F'$: | 14.5 | 6.0 | 10.5 | 12.0 | 16.5 | 14.0 | 9.0 | 14.5 | 7.0 | 8.0 | 11.5 | 13.0 | 21.0 | 9.0 | 12.5 | 5.0 | 10.0 | 7.0 |
| $U$: | 74.0 | 74.5 | 70.5 | 72.0 | 66.0 | 71.0 | 74.5 | 67.5 | 76.0 | 76.0 | 71.5 | 71.0 | 63.5 | 74.5 | 70.0 | 85.0 | 72.0 | 78.0 |
| $V$: | 17.5 | 18.0 | 19.0 | 19.5 | 23.0 | 20.0 | 18.5 | 23.0 | 17.5 | 17.5 | 20.5 | 20.5 | 26.0 | 19.5 | 21.5 | 11.0 | 21.0 | 16.5 |
| $W$: | 8.5 | 7.5 | 10.5 | 8.5 | 11.0 | 9.0 | 7.0 | 9.5 | 6.5 | 6.5 | 8.0 | 8.5 | 10.5 | 6.0 | 8.5 | 4.0 | 7.0 | 5.5 |

## Grubenmann: IV. Gruppe. Eklogite und Amphibolite.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | 2.7 | 3.5 | 3.6 | 3.4 | 3.5 | 4.5 | 4.2 | 4.3 | 3.8 | 0.7 | 4.5 | 2.8 | 2.3 | 3.2 | 4.9 | 3.3 | 2.6 | 3.4 |
| $C$: | 15.8 | 12.9 | 13.2 | 12.8 | 15.2 | 11.5 | 11.1 | 10.6 | 10.0 | 17.4 | 14.2 | 7.2 | 17.1 | 8.0 | 8.9 | 12.9 | 13.2 | 15.3 |
| $F$: | 15.2 | 24.5 | 23.2 | 27.0 | 19.4 | 21.3 | 18.8 | 22.5 | 14.4 | 24.4 | 23.2 | 25.2 | 25.1 | 26.5 | 23.0 | 19.3 | 22.9 | 17.8 |
| $S$: | 57.3 | 49.6 | 48.9 | 48.1 | 51.7 | 54.3 | 53.9 | 53.4 | 59.1 | 48.9 | 48.1 | 55.2 | 44.0 | 55.4 | 52.4 | 51.4 | 51.6 | 52.2 |
| $T$: | 9.0 | 9.5 | 11.1 | 8.7 | 10.2 | 8.4 | 12.0 | 9.2 | 12.7 | 8.6 | 10.0 | 9.6 | 11.5 | 6.9 | 10.8 | 13.1 | 9.7 | 11.3 |
| $h$: | 33.7 | 40.9 | 40.0 | 43.2 | 38.1 | 37.3 | 34.1 | 37.4 | 28.2 | 42.5 | 41.9 | 35.2 | 44.5 | 37.7 | 36.8 | 35.5 | 38.7 | 36.5 |
| $^1/_3\,h$: | 11.2 | 13.6 | 13.3 | 14.4 | 12.7 | 12.4 | 11.4 | 12.5 | 9.4 | 14.2 | 14.0 | 11.7 | 14.8 | 12.6 | 12.3 | 11.8 | 12.9 | 12.2 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 60.0 | 53.0 | 52.5 | 51.5 | 55.0 | 58.5 | 58.0 | 57.5 | 63.0 | 49.5 | 53.0 | 58.0 | 46.5 | 58.5 | 57.5 | 54.5 | 54.0 | 55.5 |
| $C'$: | 25.0 | 22.5 | 24.5 | 21.5 | 25.5 | 20.0 | 23.0 | 20.0 | 22.5 | 26.0 | 24.0 | 17.0 | 28.5 | 15.0 | 19.5 | 26.0 | 23.0 | 26.5 |
| $F'$: | 15.0 | 24.5 | 23.0 | 27.0 | 19.5 | 21.5 | 19.0 | 22.5 | 14.5 | 24.5 | 23.0 | 25.0 | 25.0 | 26.5 | 23.0 | 19.5 | 23.0 | 18.0 |
| $U$: | 69.0 | 63.5 | 62.0 | 62.5 | 64.5 | 66.5 | 65.0 | 66.0 | 68.5 | 63.0 | 62.0 | 67.0 | 59.0 | 68.0 | 64.5 | 63.0 | 64.5 | 64.5 |
| $V$: | 20.0 | 23.0 | 24.5 | 23.0 | 23.0 | 21.0 | 23.5 | 21.5 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 21.5 | 26.0 | 19.5 | 23.0 | 25.0 | 22.5 | 23.5 |
| $W$: | 11.0 | 13.5 | 13.5 | 14.5 | 12.5 | 12.5 | 11.5 | 12.5 | 9.5 | 14.0 | 14.0 | 11.5 | 15.0 | 12.5 | 12.5 | 12.0 | 13.0 | 12.0 |

## Grubenmann: V. Gruppe. Magnesiumsilikatschiefer.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | — | — | — | 1.3 | — | 0.8 | — | — | — | — | 1.0 | — | — | — | — | 1.1 | — | — |
| $C$: | 0.8 | 3.1 | 0.2 | 1.8 | 10.9 | 11.1 | 11.6 | 10.4 | 12.5 | 1.9 | — | 3.9 | — | 2.6 | 1.7 | 1.5 | 0.1 | 1.6 |
| $F$: | 62.3 | 56.9 | 65.0 | 39.7 | 41.9 | 37.1 | 35.3 | 40.0 | 36.4 | 41.0 | 42.9 | 51.5 | 66.8 | 55.6 | 44.6 | 46.0 | 58.3 | 60.8 |
| $S$: | 36.4 | 38.2 | 34.5 | 49.7 | 43.5 | 49.7 | 52.6 | 48.4 | 50.4 | 52.0 | 36.4 | 36.9 | 30.1 | 38.5 | 53.5 | 49.0 | 40.1 | 36.2 |
| $T$: | 0.5 | 1.8 | 0.3 | 7.5 | 3.7 | 1.3 | 0.5 | 1.2 | 0.7 | 5.1 | 19.7 | 7.7 | 3.1 | 3.3 | 0.2 | 2.4 | 1.5 | 1.4 |
| $h$: | 63.1 | 60.0 | 65.2 | 42.8 | 52.8 | 49.0 | 46.9 | 50.4 | 48.9 | 42.9 | 43.9 | 55.4 | 66.8 | 58.2 | 46.3 | 48.6 | 58.4 | 62.4 |
| $^1/_3\,h$: | 21.0 | 20.0 | 21.7 | 14.3 | 17.6 | 16.3 | 15.6 | 16.8 | 16.3 | 14.3 | 14.6 | 18.5 | 22.3 | 19.4 | 15.4 | 16.2 | 19.5 | 20.8 |



## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 36.5 | 38.0 | 34.5 | 51.0 | 43.5 | 50.5 | 52.5 | 48.5 | 50.5 | 52.0 | 37.5 | 37.0 | 30.0 | 38.5 | 53.5 | 50.0 | 40.0 | 36.0 |
| $C'$: | 1.5 | 5.0 | 0.5 | 9.5 | 14.5 | 12.5 | 12.0 | 11.5 | 13.0 | 7.0 | 19.5 | 11.5 | 3.0 | 6.0 | 2.0 | 4.0 | 1.5 | 3.0 |
| $F'$: | 62.0 | 57.0 | 65.0 | 39.5 | 42.0 | 37.0 | 35.5 | 40.0 | 36.5 | 41.0 | 43.0 | 51.5 | 67.0 | 55.5 | 44.5 | 46.0 | 58.5 | 61.0 |
| $U$: | 57.5 | 58.0 | 56.5 | 64.0 | 61.0 | 66.0 | 68.5 | 65.0 | 66.5 | 66.0 | 51.0 | 55.5 | 52.0 | 58.0 | 69.0 | 65.5 | 59.5 | 57.0 |
| $V$: | 21.5 | 22.0 | 22.0 | 21.5 | 21.5 | 17.5 | 16.0 | 18.0 | 17.0 | 19.5 | 34.5 | 26.0 | 25.5 | 22.5 | 15.5 | 18.5 | 21.0 | 22.0 |
| $W$: | 21.0 | 20.0 | 21.5 | 14.5 | 17.5 | 16.5 | 15.5 | 17.0 | 16.5 | 14.5 | 14.5 | 18.5 | 22.5 | 19.5 | 15.5 | 16.0 | 19.5 | 21.0 |

## Grubenmann: VI. Gruppe. Jadeitgesteine.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | 15.2 | 13.3 | 13.5 | 13.2 | 14.7 | 11.5 | 10.2 | 7.3 | 7.3 | 12.3 | 11.8 | 9.0 |
| $C$: | 0.8 | 3.5 | 2.0 | 4.1 | 0.6 | 0.3 | 1.9 | 0.6 | 2.1 | 0.6 | 0.6 | 3.6 |
| $F$: | 0.6 | 7.8 | 4.4 | 4.7 | 2.5 | 3.2 | 10.1 | 2.2 | 7.2 | 1.4 | 8.0 | 9.3 |
| $S$: | 66.1 | 62.2 | 65.1 | 64.2 | 68.0 | 74.4 | 68.4 | 82.6 | 75.2 | 73.8 | 69.7 | 67.1 |
| $T$: | 17.3 | 13.1 | 15.0 | 13.8 | 14.2 | 10.6 | 9.4 | 7.3 | 8.2 | 11.9 | 9.9 | 11.0 |
| $h$: | 16.6 | 24.7 | 19.9 | 22.0 | 17.8 | 15.0 | 22.2 | 10.1 | 16.6 | 14.3 | 20.4 | 21.9 |
| $^1/_3\,h$: | 5.5 | 8.2 | 6.6 | 7.3 | 5.9 | 5.0 | 7.4 | 3.4 | 5.5 | 4.8 | 6.8 | 7.3 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 81.5 | 75.5 | 78.5 | 77.5 | 82.5 | 86.0 | 78.5 | 90.0 | 82.5 | 86.0 | 81.5 | 76.0 |
| $C'$: | 18.0 | 16.5 | 17.0 | 18.0 | 15.0 | 11.0 | 11.5 | 8.0 | 10.5 | 12.5 | 10.5 | 14.5 |
| $F'$: | 0.5 | 8.0 | 4.5 | 4.5 | 2.5 | 3.0 | 10.0 | 2.0 | 7.0 | 1.5 | 8.0 | 9.5 |
| $U$: | 71.5 | 70.5 | 72.0 | 71.5 | 74.0 | 79.5 | 75.5 | 86.0 | 81.0 | 78.5 | 76.5 | 74.5 |
| $V$: | 23.0 | 21.5 | 21.5 | 21.0 | 20.0 | 15.5 | 17.0 | 10.5 | 13.5 | 16.5 | 16.5 | 18.0 |
| $W$: | 5.5 | 8.0 | 6.5 | 7.5 | 6.0 | 5.0 | 7.5 | 3.5 | 5.5 | 5.0 | 7.0 | 7.5 |

## Grubenmann: VII. Gruppe. Chloromelanitgesteine.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | 12.1 | 7.7 | 7.0 | 5.3 | 9.7 | 9.6 | 7.6 | 8.5 | 7.4 | fehlt | 7.3 | 5.4 |
| $C$: | 5.8 | 13.2 | 13.2 | 14.9 | 8.2 | 7.4 | 8.1 | 2.6 | 5.4 | in | 7.2 | 7.7 |
| $F$: | 14.1 | 17.0 | 15.3 | 17.1 | 18.5 | 17.5 | 19.3 | 19.6 | 19.3 | Figur | 21.1 | 25.5 |
| $S$: | 59.5 | 56.3 | 59.5 | 56.8 | 57.6 | 54.3 | 54.6 | 58.8 | 58.4 | 9 | 55.9 | 53.2 |
| $T$: | 8.5 | 5.8 | 5.0 | 5.9 | 6.0 | 11.2 | 10.4 | 10.5 | 9.5 | | 8.5 | 8.2 |
| $h$: | 32.0 | 37.9 | 35.5 | 37.3 | 36.4 | 34.5 | 35.0 | 30.7 | 32.1 | | 35.6 | 38.6 |
| $^1/_3\,h$: | 10.7 | 12.6 | 11.8 | 12.4 | 12.1 | 11.5 | 11.7 | 10.2 | 10.7 | | 11.9 | 12.9 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 71.5 | 64.0 | 66.5 | 62.0 | 67.5 | 64.0 | 62.0 | 67.5 | 65.5 | | 63.5 | 58.5 |
| $C'$: | 14.5 | 19.0 | 18.0 | 21.0 | 14.0 | 18.5 | 18.5 | 13.0 | 15.0 | | 15.5 | 16.0 |
| $F'$: | 14.0 | 17.0 | 15.5 | 17.0 | 18.5 | 17.5 | 19.5 | 19.5 | 19.5 | | 21.0 | 25.5 |
| $U$: | 70.0 | 69.0 | 71.5 | 69.0 | 70.0 | 66.0 | 66.5 | 69.0 | 69.0 | | 67.5 | 66.0 |
| $V$: | 19.5 | 18.5 | 16.5 | 18.5 | 18.0 | 22.5 | 22.0 | 21.0 | 20.5 | | 20.5 | 21.0 |
| $W$: | 10.5 | 12.5 | 12.0 | 12.5 | 12.0 | 11.5 | 11.5 | 10.0 | 10.5 | | 12.0 | 13.0 |

## Grubenmann: VIII. Gruppe. Quarzitgesteine.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | 4.3 | 3.2 | 3.0 | 1.3 | 1.4 | 3.5 | 4.2 | 0.3 | 2.4 | 1.3 | 2.0 | — |
| $C$: | 0.5 | 1.1 | 0.9 | 0.3 | 0.4 | 1.6 | — | — | 7.7 | 0.4 | 0.8 | 0.3 |
| $F$: | 4.4 | 4.1 | 2.7 | 8.7 | 1.4 | 2.5 | 5.8 | 2.8 | 7.9 | 1.8 | 7.0 | 10.0 |
| $S$: | 85.7 | 85.3 | 88.8 | 80.8 | 94.3 | 82.9 | 83.7 | 95.8 | 78.6 | 93.2 | 86.0 | 84.5 |
| $T$: | 5.1 | 6.3 | 4.6 | 8.9 | 2.5 | 9.5 | 6.3 | 1.1 | 3.4 | 3.3 | 4.2 | 5.2 |
| $h$: | 9.2 | 8.4 | 6.6 | 10.3 | 3.2 | 7.6 | 10.0 | 3.1 | 18.0 | 3.5 | 9.8 | 10.3 |
| $^1/_3\,h$: | 3.1 | 2.8 | 2.2 | 3.4 | 1.1 | 2.5 | 3.3 | 1.0 | 6.0 | 1.2 | 3.3 | 3.4 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 90.0 | 88.5 | 92.0 | 82.0 | 95.5 | 86.5 | 88.0 | 96.0 | 81.0 | 94.5 | 88.0 | 84.5 |
| $C'$: | 5.5 | 7.5 | 5.5 | 9.5 | 3.0 | 11.0 | 6.5 | 1.0 | 11.0 | 3.5 | 5.0 | 5.5 |
| $F'$: | 4.5 | 4.0 | 2.5 | 8.5 | 1.5 | 2.5 | 5.5 | 3.0 | 8.0 | 2.0 | 7.0 | 10.0 |
| $U$: | 89.0 | 88.0 | 91.0 | 84.0 | 95.5 | 85.5 | 87.0 | 97.0 | 84.5 | 94.5 | 89.0 | 88.0 |
| $V$: | 8.0 | 9.0 | 7.0 | 12.5 | 3.5 | 12.0 | 9,5 | 2.0 | 9.5 | 4.5 | 7.5 | 8.5 |
| $W$: | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 3.5 | 1.0 | 2.5 | 3.5 | 1.0 | 6.0 | 1.0 | 3.5 | 3.5 |

## Grubenmann: IX. Gruppe. Kalksilikatgesteine.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$: | — | — | 2.0 | — | 3.0 | 2.7 | 2.8 | 1.1 | 0.3 | 0.4 | 2.1 | 3.4 |
| $C$: | 20.8 | 29.9 | 23.6 | 41.0 | 23.8 | 47.2 | 21.3 | 43.0 | 23.6 | 16.2 | 28.0 | 30.4 |
| $F$: | 28.0 | 6.3 | 9.8 | 8.8 | 7.2 | 4.8 | 8.8 | 15.8 | 15.7 | 8.6 | 1.9 | 8.9 |
| $S$: | 51.2 | 57.3 | 51.0 | 39.4 | 57.7 | 42.5 | 56.2 | 35.8 | 48.7 | 67.0 | 65.7 | 47.5 |
| $T$: | — | 6.5 | 13.6 | 10.8 | 8.3 | 2.8 | 10.9 | 4.3 | 11.7 | 7.8 | 2.3 | 9.8 |
| $h$: | 48.8 | 36.2 | 35.4 | 49.8 | 34.0 | 54.7 | 32.9 | 59.9 | 39.6 | 25.2 | 32.0 | 42.7 |
| $^1/_3 h$: | 16.3 | 12.1 | 11.8 | 16.6 | 11.3 | 18.2 | 11.0 | 20.0 | 13.2 | 8.4 | 10.7 | 14.2 |

## Abgerundete Projektionswerte.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A'$: | 51.0 | 57.0 | 53.0 | 39.5 | 61.0 | 45.0 | 59.0 | 37.0 | 49.0 | 67.5 | 67.5 | 51.0 |
| $C'$: | 21.0 | 36.5 | 37.0 | 51.5 | 32.0 | 50.0 | 32.0 | 47.5 | 35.5 | 24.0 | 30.5 | 40.0 |
| $F'$; | 28.0 | 6.5 | 10.0 | 9.0 | 7.0 | 5.0 | 9.0 | 15.5 | 15.5 | 8.5 | 2.0 | 9.0 |
| $U$: | 67.0 | 69.5 | 62.5 | 56.0 | 69.0 | 61.0 | 67.0 | 55.5 | 62.0 | 75.5 | 76.5 | 62.0 |
| $V$: | 16.5 | 18.5 | 25.5 | 27.5 | 19.5 | 21.0 | 22.0 | 24.5 | 25.0 | 16.0 | 13.0 | 24.0 |
| $W$: | 16.5 | 12.0 | 12.0 | 16.5 | 11.5 | 18.0 | 11.0 | 20.0 | 13.0 | 8.5 | 10.5 | 14.0 |

Mit der Mitteilung dieser Projektionsbeispiele ist der Zweck der vorliegenden Publikation erfüllt. Es möge zum Schluss noch darauf hingewiesen sein, dass sich diese Projektion auch zur Darstellung des chemischen Verlaufs der Verwitterungs- und Umwandlungserscheinungen eignet und sich auch ebensogut für Analysen mit anderen chemischen Komponenten z. B. von Salzgesteinen (wie Verf. bereits in Karlsruhe an dem Beispiel der Darstellung aller Salzmineralien zeigte), Mineralwasseranalysen u. s. w. verwenden lässt. Wie weit sie sich dafür bewährt, müssen noch praktische Versuche ergeben. Da die Methode auch durch Aufstellung der Gleichungen der Verbindungslinien einer rechnerischen Behandlung fähig ist, dürfte sie sich auch zur Ermittelung der chemischen Verhältnisse komplizierter isomorpher Mischungen eignen. Wenn sich die hier dargestellte Methode bewährt, so steht vielleicht zu hoffen, dass auch die zweite Art mit Konstanz des inneren Dreiecks, die z. B. zum Vergleich der kristallinen Schiefer mit den Eruptivgesteinen einerseits und Sedimentgesteinen andererseits sehr brauchbar ist, aber den praktischen Nachteil der umständlicheren Umrechnung besitzt, gleichfalls Eingang findet. Schliesslich ist es auch möglich beide Methoden zu kombinieren und dadurch zur Darstellung der Abhängigkeit von 9 Grössen zu gelangen; dies wird aber in der Tat ziemlich kompliziert und möge daher hier nur zum Schluss angedeutet sein.

---

Bemerkungen zu den Figuren. In den abgebildeten Projektionen erscheinen die als Pfeilspitzen gezeichneten Mittelpunkte der inneren Dreiecke meist als Punkte. Die dickeren Endpunkte sind die Basenpunkte.

---

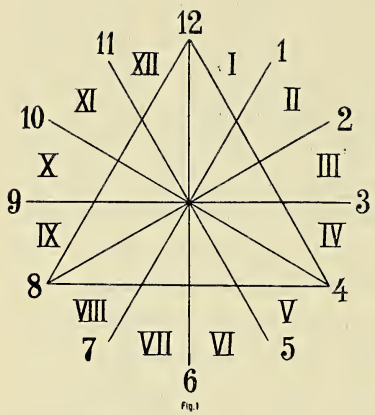


Fig. 1

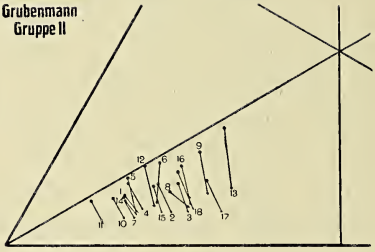


Fig. 4

Tiefengesteine
1-10 Granit
11-20 Syenit
21-30 Diorit
31-40 Gabbro

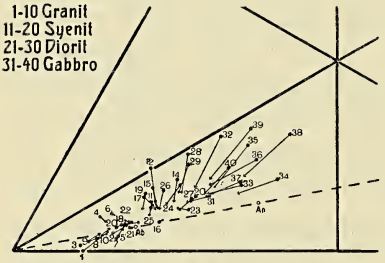


Fig. 2

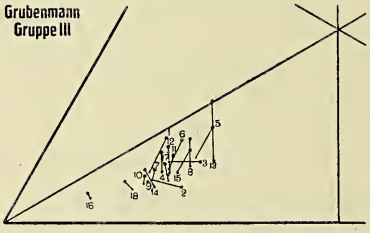


Fig. 5

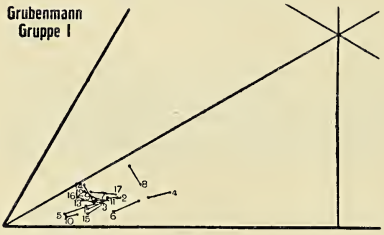


Fig. 3

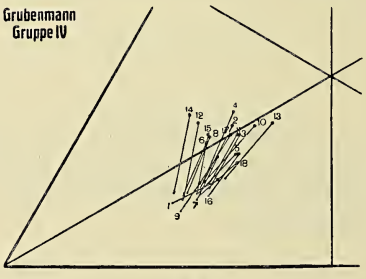


Fig. 6

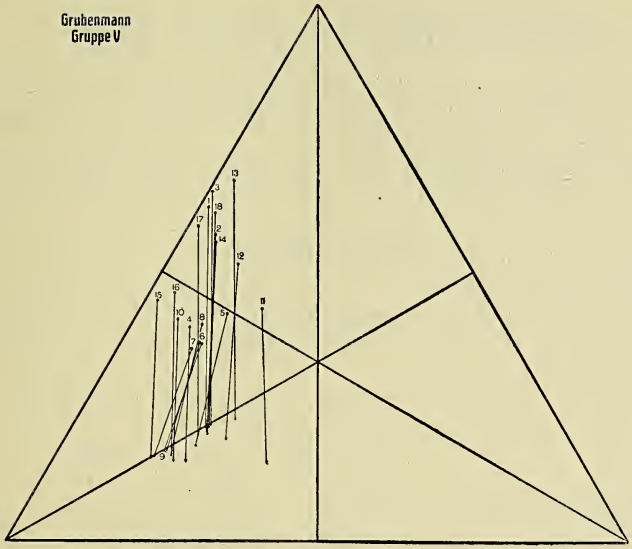



Fig. 7

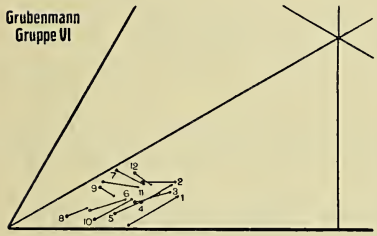



Fig. 8

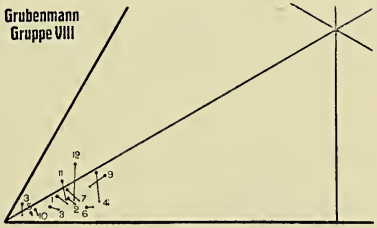



Fig. 10

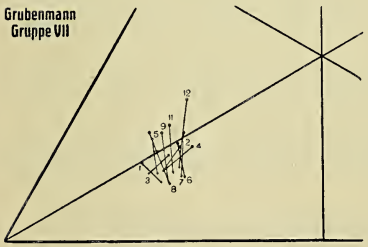



Fig. 9

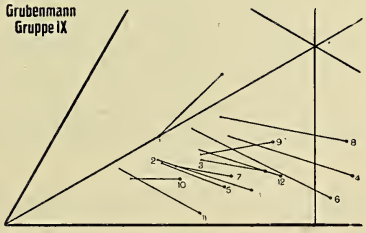



Fig. 11

## Aufgelegte Schriften:

Atti della Societá Toscana di Scienze naturali. Bd. 19, 1—4. Pisa 1910.

Rendiconto Dell' Accademia Scienze fisische e Mat. 3. Ser. Vol. 16. Tasc. 7—9. Napoli 2910.

Atti della reale Accademia dei Lincei. XIX. Fasc. 9—12. XX. Fasc. 1, 2. Roma 1910—11.

Bull. d. l. Société géologique d. Belgique. XXXVI. 1908—9. Liège 1910.

Proceedings Acad. Nat. Sciences Philadelphia. Vol. LXII, II, 1910. Philadelphia 1910.

Bull. New York public Library. XIV, 11, 12. XV, 1. New York 1911.

Bull. Scientific Laboratories, Denison University. XVI, 1—3. Granville Ohio 1910.

Mem. Mus. of Comparative Zoology. Vol. XL, 2. Cambridge, U. S. A. 1911, und Annual Report 1909—10.

Bull. Smithsonian Inst. No. 37, 45, 49. Washington 1910.

Smithsonian miscellaneous Collections. Vol. 56, Nr. 11, 13, 14, 15. Washington 1910.

Proc. of American Academy of Arts and Sciences, 45, 21, 46, 1—12. Boston 1910.

Navy department, U. S. Naval observatory. 1910. Washington 1910.

Univ. Studies Nebraska. Vol. X, 1. Lincoln, Nebraska 1910.

Field Mus. Publication 145. Vol. III. Nr. 8. Chicago 1910.

Bulletin Illinois State Laboratory. Vol. VIII, Vol. IX, 1—3. Daville, Ill. 1910.

Amer. Naturalist., 44, Nr. 528. 45, Nr. 529, 530. Lancaster, Pa. 1910—11.

United States geol. Surv. Water-Supply paper, 237, 239, 247, 250, 251. Washington 1910.

United States geol. Surv. Bull. 425—427 u. 432. Washington 1910.

United States geol. Surv. Profess. Paper, 68. Washington 1908.

Bericht d. Kiew'schen naturf. Ges. 21, 2. Kiew 1910.

Bull. Acad. imper. Petersbourg. 1910. H. 16—18. 1911. H. 1 u. 2.

Travaux Mus. geol. Pierre le Grand. Tome IV, 1910, 1 und 2. Tome III. 1909. Petersburg 1910.

Memoirs and Proceedings Manchester literary und phil. Society. Vol. 55. Part I. Manchester 1911.

Parergones Instituto geologico. Vol. III, 6. Mexico 1910.

Archivos do Instituto bacteriologico Camara pestana. Tome III. Fasc. II. Lissabon 1911.

Missouri Botanical Garden. 21. Jahresbericht. St. Louis, Mo. 1910.

# Sitzungsberichte
der
## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften
zu
## MARBURG

№ 7 November 1912

In der Sitzung vom 13. November hielt Herr A. Thiel den Vortrag:

### Die Anwendung neuerer Ergebnisse der Indikatorenforschung zu quantitativen Studien.
(Mit Experimenten.) [1])

Die Indikatoren der Sättigungsanalyse (der Acidimetrie und Alkalimetrie) — nur diesen Indikatoren gilt die folgende Betrachtung — gehören nicht nur wegen ihrer praktischen Bedeutung für die Massanalyse zu den wichtigsten, sondern auch wegen der sich an ihnen so prompt abspielenden und mit so einfachen Mitteln, wie Ansäuern und Alkalisieren, zu bewirkenden, auffälligen und noch dazu reversiblen Farbänderungen zu den interessantesten Substanzen. Die Vorstellungen von dem Wesen jener Farbänderungen, des Indikatorenumschlags, dürfen daher allgemeinere Bedeutung in Anspruch nehmen. Hängt doch von der richtigen Erkenntnis der jenem Phänomen zugrundeliegenden Gesetzmässigkeiten die Möglichkeit bewusster Auswahl der günstigsten Versuchsbedingungen sowie der geeignetsten Indikatorsubstanzen

1) In kurzem Auszuge auf der Naturforscherversammlung in Münster (1912) vorgetragen.

für die praktischen Aufgaben des Chemikers ab. Des weiteren haben die neueren Untersuchungen gerade über Indikatorsubstanzen direkt und indirekt Resultate geliefert, die für unsere ganze Auffassung vom Wesen der Farbe und von den Farbänderungen einschneidende Bedeutung erlangt haben.

Die letztgenannten Forschungen haben unsere Vorstellungen von der Natur des Farbumschlags der Indikatoren wesentlich verschoben, und es ist wohl unerlässlich, die neueste Indikatorentheorie in ihren Grundzügen darzulegen, bevor von den Anwendungen der gewonnenen Ergebnisse gesprochen werden kann.

W. Ostwald gebührt das bleibende Verdienst, in die Mannigfaltigkeit der Indikatorenreaktionen System und Ordnung gebracht zu haben. Er betrachtete die hierher gehörenden Erscheinungen vom Standpunkte der jungen Ionenlehre in Verbindung mit dem Massenwirkungsgesetze. Die Grundidee war zweifellos die auf zahlreiche Beobachtungen an anorganischen Salzen und Säuren wie auch an Farbstoffderivaten mit Elektrolytnatur gestützte Annahme, dass den Ionen aufgrund ihres eigenartigen Zustandes besondere optische Qualitäten zukommen, die sich insbesondere in einer individuellen Farbe, verschieden von der des ungespaltenen Stoffes, ausdrücken können. In der Tat lässt sich ja auf diese Weise eine grosse Zahl von Erscheinungen befriedigend erklären, und so spielte denn die „Ionenfarbe“ bei allen Erörterungen über die Ionenlehre stets eine wichtige Rolle. Die Indikatorenphänomene liessen sich nun leicht verständlich machen, wenn man, wie es Ostwald tat, diese Substanzen selbst als Säuren bzw. Basen ansah, die in ungespaltenem Zustande eine andere Farbe besitzen, als ihre Ionen (die Anionen der sauren, die Kationen der basischen Indikatorsubstanzen). Dann hat man es bei den Indikatorphänomenen mit der Verschiebung elektrolytischer Gleichgewichte zu tun, für die nach dem Gesagten die Konzentration der Wasserstoff- oder Hydroxylionen massgebend sein muss. Die un-

messbar grosse Geschwindigkeit, mit der Trennung und Vereinigung von Ionen erfahrungsgemäss in derartigen einfachen Fällen verläuft, stimmte sehr gut zu der Schnelligkeit der Indikatorenumschläge. Des weiteren liessen es die auf solche Prozesse angewandten Konsequenzen des Massenwirkungsgesetzes, insbesondere hinsichtlich der Beteiligung des Wassers als Elektrolyt (Hydrolyse), als durchaus erklärlich erscheinen, dass sich nicht alle Indikatoren für alle Fälle der Praxis gleich gut eigen. Die Theorie lässt voraussehen, dass sich zwar starke Säuren mit starken Basen und umgekehrt sowohl mit schwachen als auch mit etwas stärkeren Indikatorsäuren und -basen titrieren lassen, dass aber die Titration schwacher Säuren mit starken Basen schwach saure oder stärker basische, die Titration schwacher Basen mit starken Säuren schwach basische oder stärker saure Indikatoren verlangt. Die Erfahrungen der Praxis stehen mit diesen Folgerungen aus der Theorie bekanntlich in Uebereinstimmung.

Nun ist aber in jüngster Zeit, in besonders umfassender Weise durch die Hantzsch'sche Schule, der Nachweis erbracht worden, dass wesentliche Farbänderungen, wie sie ja bei den Indikatoren vorliegen, niemals durch blosse Ionisation, sondern stets durch chemische Aenderungen (Konstitutionsänderungen im weitesten Sinne) bedingt sind. Das gilt nicht nur für organische Farbstoffe, sondern auch für diejenigen anorganischen Salze, die eine besondere Stütze der Ionenfarbentheorie gewesen waren. Dass die Ionisation an sich ohne Einfluss auf die Lichtabsorption sein soll, ist allerdings sehr wunderbar, weil hier zweifellos tiefgreifende chemische Prozesse vorliegen; es bleibt aber immer noch die Möglichkeit offen, dass jene Einflüsse noch zu wenig untersuchte Spektralgebiete betreffen. Es müssen nun allerdings sehr gewichtige Beweisgründe vorhanden ein, wenn ein so logisch aufgebautes, mit den Erfahrungstatsachen scheinbar vollkommen harmonierendes System, wie das der Ostwald'schen

Indikatorentheorie, aufgegeben werden soll. Auf eine eingehende Erörterung der Argumente, die für und gegen die alte Theorie und für die „chemische“ Theorie ins Feld zu führen sind, muss an dieser Stelle verzichtet werden. Eine kritische Würdigung des sehr umfangreichen und wenig übersichtlichen Materials und ein Versuch, das, was von beiden Auffassungen unanfechtbar und darum brauchbar ist, zu einer neuen Theorie zu verschmelzen, ist ausführlich an anderer Stelle[1]) veröffentlicht worden. Es möge hier nur betont werden, dass die Anwendbarkeit des Massenwirkungsgesetzes und der Ionentheorie im Sinne der alten Auffassung auch jetzt noch in Geltung bleibt, und dass es eben darauf ankommt, auch von diesem Gesichtspunkte aus der unumstösslichen Tatsache gerecht zu werden, dass der ungespaltene Stoff bei ungeänderter Konstitution die gleiche Farbe besitzt, wie sein Ion.

Eine solche Verschmelzung ist aber nicht schwer, und es möge im Folgenden kurz gezeigt werden, welches die Grundzüge der neuen Theorie des Indikatorenumschlags sind.

Indikatoren sind Stoffe, welche durch Aenderung der Wasserstoff- bezw. Hydroxylionenkonzentration in Lösung erhebliche Farbänderungen erleiden. Letztere sind, falls nicht Kolloidreaktionen mit wesentlicher Aenderung des Dispersitätsgrades in erster Linie in Frage kommen[2]), stets die Folge chemischer Prozesse. Damit ein Stoff als Indikator verwendbar ist, müssen diese Prozesse genügend rasch verlaufen und umkehrbar sein. Bei jedem Indikator ist mithin unter allen Bedingungen ein chemisches Gleichgewicht zwischen verschiedenfarbigen (auch Weiss ist hier als Farbe gerechnet) Formen anzunehmen, dessen Lage eben von der acidimetrischen Reaktion der Lösung abhängt. Wasserstoff-

1) A. Thiel, Der Stand der Indikatorenfrage, Sammlung chem. u. chem.-techn. Vorträge, Bd. 16, Heft 8/10. Enke, Stuttgart, 1911.

2) Wo. Ostwald, Kolloidchemie der Indikatoren, Kolloidztschr **10**, 97; 132 (1912).

oder Hydroxylion sind also Gleichgewichtskomponenten, und deshalb ist jedem Indikator der genannten Art der Charakter einer Säure oder Base zuzusprechen (wie bei Ostwald). Die Abhängigkeit der Farbe der Indikatorlösungen von der Konzentration der Wasserstoff- oder Hydroxylionen erklärt sich dann folgendermassen. Jedes einzelne Derivat einer Indikatorsubstanz (bei einer Indikatorsäure z. B. die ungespaltene Säure, ein ungespaltenes Salz, das Anion) stellt in sich ein Gleichgewichtssystem dar zwischen zwei verschieden konstituierten und daher verschiedenfarbigen Stoffen. Man kann das auch so ausdrücken, dass jedes einzelne Derivat ein bestimmtes Umwandlungsverhältnis zwischen den beiden verschiedenfarbigen Formen besitzt, das konstant und von der acidimetrischen Reaktion nicht, wohl aber von der Temperatur abhängig ist. Wegen der Säuren- oder Basennatur der Indikatoren ist nun aber die Verteilung der Indikatorsubstanz auf die einzelnen Derivate von der acidimetrischen Reaktion der Lösung abhängig, und damit wird auch die Farbstärke (bei „einfarbigen") oder der Farbton (bei „zweifarbigen" Indikatoren) der Lösung, der durch das „mittlere Umwandlungsverhältnis" der gesamten Indikatorsubstanz bestimmt ist, eine Funktion der acidimetrischen Reaktion. Ein Beispiel wird das klarer machen. Beim *p*-Nitrophenol haben wir es mit einer farblosen und einer gelben Form der Derivate zu tun. Es muss also farblose und gelbe ungespaltene Säure, farblose und gelbe ungespaltene Salze (mit farblosen Basen) und endlich farblose und gelbe Anionen geben. Machen wir die willkürliche Annahme, dass die ungespaltene Säure immer zu 1 %, das Ion aber zu 80 % in der gelben Form existiert, so wird in einer Lösung, die den Indikator zu 3 % gespalten enthält (es ist das eine etwa 0,0001 *n* wässerige Lösung des reinen Indikators), das *p*-Nitrophenol zu $0{,}97 + 2{,}4 =$ rund 3,4 % gelb sein. Macht man nun die Lösung für $H \cdot 0{,}001\ n$, so geht die Spaltung des Indikators auf 0,007 % zurück, wie

man aus der Affinitätskonstante dieses Stoffes ($7 \cdot 10^{-8}$) leicht berechnen kann. Der Anteil der gelben Form sinkt dementsprechend auf 1,006 %. Macht man schliesslich die Lösung ganz schwach alkalisch ($[H^{\cdot}] = 10^{-8}\, n$), so wird der Indikator zu 99,97 % gespalten, und die Menge der gelben Form steigt auf 79,9 % der Gesamtmenge. Hierbei ist angenommen, dass das beim Alkalisieren entstehende Indikatorsalz (das mindestens dasselbe Umwandlungsverhältnis hat, wie das Ion) praktisch vollkommen gespalten ist. Man sieht also, wie der Farbton von der Konzentration des Wasserstoffions abhängt (man kann überall einfach mit $H^{\cdot}$-Konzentrationen rechnen, da die $OH'$-Konzentration durch das Wassergleichgewicht in verdünnten Lösungen stets mitdefiniert ist).

Es ist im Prinzip stets zwischen dem elektrolytischen Spaltungsgleichgewichte und dem „chromotropischen" Gleichgewichte eines Indikators zu unterscheiden. Beide können allerdings praktisch zusammenfallen, wie es vielfach der Fall zu sein scheint. Das wird dann eintreten, wenn sich die Ionen praktisch nur von der einen Form des Indikators ableiten. Für Salze mit stark elektropositiven Kationen[1]) gilt dann das Gleiche; sie bevorzugen auch dieselbe Form, wie die Ionen. Dann bleiben trotz der Verschiedenheit der Konstitution von ungespaltenem Stoff und Ion die Konsequenzen der Ostwald'schen Theorie in Geltung. Man könnte somit der Ansicht sein, dass für die meisten Zwecke der Praxis die alte Auffassung gleichwohl brauchbar sei, wenn man nur von der spezifischen Ionenfarbe absieht und daran festhält, dass nur Konstitutionsverschiedenheiten eine merkliche Farbverschiedenheit bedingen können. Das ist allerdings an sich richtig. Doch bleiben hier immer noch gewisse Schwierigkeiten. Man muss nämlich hinfort alle sich auf die alte Theorie stützenden Versuche aufgeben, Indikatorenphänomene, wie manche Farbbeeinflussungen durch

1) Bei Indikatorsäuren; gilt sinngemäss auch für Indikatorbasen und Anionen.

gleichionige Elektrolyte, mit Aenderungen des Spaltungsgrades zu erklären. Denn wenn sich Salze und Ionen praktisch nur von einer Form herleiten, dann kann die Aenderung des Spaltungsgrades eines solchen Indikatorsalzes an der Farbe der Lösung nichts ändern. Gegen diese Forderung der neuen Auffassung wird auch in jüngster Zeit immer noch gefehlt. Man muss also in den oben genannten Sonderfällen zwischen der Ionisationsbeeinflussung beim Indikator selbst und derjenigen bei seinen Salzen unterscheiden. Erstere ist chromotrop, weil ein Stoff anderer Konstitution entsteht, letztere dagegen nicht, weil die Konstitution die gleiche bleibt.

Solange nun nicht festgestellt ist, ob und wieweit bei jedem einzelnen Indikator elektrolytisches und chromotropisches Gleichgewicht zusammenfallen, wird man gut tun, mit der Anwendung der in gewöhnlicher Weise gemessenen Affinitätskonstante von Indikatoren als Klassifikationsprinzip für die Zwecke der praktischen Verwendung vorsichtig zu sein. In der Tat hat sich ja auch gezeigt, dass kolorimetrische Untersuchungen vielfach ganz andere Ergebnisse gehabt haben, als Stärkemessungen nach den sonst üblichen Methoden. Rationeller und einfacher erscheint vorderhand die Einteilung der Indikatoren nach ihrer Empfindlichkeit gegen Wasserstoffion. Man teilt zweckmässig das Gesamtgebiet der acidimetrischen Reaktionen in Säurestufen ein, geordnet nach Zehnerpotenzen der $H^{\cdot}$-Konzentration. In diesem System findet jeder Indikator seinen Platz je nach der $H^{\cdot}$-Konzentration, bei der er einen bestimmten Farbwechsel zeigt. Man kann dann von einem bestimmten „Umschlagsniveau“ jedes Indikators sprechen. Seine $H^{\cdot}$-Empfindlichkeit ist um so grösser, je tiefer das Umschlagsniveau in der Stufenfolge der $H^{\cdot}$-Konzentrationen liegt. Fiele allgemein elektrolytisches und chromotropisches Gleichgewicht zusammen, dann fänden die Indikatorbasen ihren Platz in einem um so tieferen Niveau, je stärker, die Indikatorsäuren dagegen, je

schwächer sie sind. Damit ist der Anschluss dieses Systems an die alte Auffassung gegeben.

Die Messung von Indikatorenempfindlichkeiten ist nun in umfassender Weise von Salessky, Fels, Friedenthal, Salm sowie Sörensen ausgeführt worden[1]). Man kennt jetzt für jede der für praktische Zwecke in Frage kommenden $[H^{\cdot}]$-Stufen einen oder mehrere brauchbare Indikatorenumschläge. Eine tabellarische Zusammenstellung ist in der obengenannten Monographie zu finden. Auf Grund dieser Ergebnisse haben wir jetzt auch die Möglichkeit, die Eignung eines bestimmten Indikators für die Zwecke der Massanalyse nicht nur schätzungsweise zu beurteilen, wie das früher auf Grund der qualitativen Zuteilung zur Klasse der stärkeren, schwächeren oder ganz schwachen Indikatorsäuren bzw. -basen geschah — Affinitätskonstanten sind in geringer Zahl erst neuerdings gemessen worden —, sondern durch quantitative Rechnung ermitteln, wie sich ein Indikator bekannter Empfindlichkeit unter definierten Versuchsbedingungen in einem beliebigen Falle der Praxis verhalten wird.

Wir wollen zunächst dieser Frage näher treten.

Es gilt z. B. einen anschaulichen Begriff davon zu gewinnen, wie sich die bekanntesten Indikatoren der massanalytischen Praxis, Methylorange und Phenolphtalein, für die prinzipiell verschiedenen möglichen Fälle einfachster massanalytischer Aufgaben eignen. Wir wählen als Titriermittel stets eine starke Base, wie Natronlauge, und eine starke Säure, wie Salzsäure, und unterwerfen der Titration starke, mässig schwache und ganz schwache Säuren und anderseits Basen in der gleichen Stärkeabstufung. Wir denken uns die Titration in so grosser Verdünnung vorgenommen, dass wir sowohl Salzsäure und Natriumhydroxyd als auch die bei

---

1) Die Literatur findet sich in der genannten Monographie über den Stand der Indikatorenfrage.

unserem Prozesse entstehenden Neutralsalze als praktisch vollkommen gespalten ansehen dürfen, bei unseren Rechnungen auch von der bei der Titration eintretenden Volumänderung absehen können. Als Beispiele zur Acidimetrie nehmen wir Salzsäure, Essigsäure ($K = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$) und Phenol ($K = 1{,}3 \cdot 10^{-10}$), zur Alkalimetrie der Einfachheit halber Basen, die ungefähr gleiche Konstanten haben, wie die gewählten Säuren, nämlich Natriumhydroxyd (wie Salzsäure), Ammoniak (wie Essigsäure) und *p*-Chloranilin (wie Phenol). Wir können nun für jedes Stadium der Titration die zugehörige $H^{\cdot}$-Konzentration berechnen. Sie ist bei der Acidimetrie der Salzsäure einfach gleich der Konzentration der noch unverbrauchten Säure, bei der Titrafion der Natronlauge gleich der Wasserkonstante dividiert durch die Konzentration der noch unverbrauchten Lauge (bei 25° also gleich $\frac{10^{-14}}{[OH']}$) zu setzen. Für die anderen Fälle ergibt sie sich aus der Spaltungsgleichung der Säuren: $[H^{\cdot}] \cdot [A'] = K \cdot [HA]$, in der $[HA]$ die Konzentration der ungespaltenen Säure, $[A']$ die ihres Anions bedeutet, und der Gleichung für die Basen $\frac{10^{-14} \cdot [Bs^{\cdot}]}{[H^{\cdot}]} = K \cdot [BsOH]$, wenn mit $BsOH$ die ungespaltene Base, mit $Bs^{\cdot}$ ihr Kation bezeichnet wird, während $K$ in in jedem Falle die individuelle Affinitätskonstante ist. Bei schwachen Säuren und Basen ist, sofern nicht eines der Ionen des Wassers stark überwiegt, natürlich die Hydrolyse der Neutralsalze in Rechnung zu stellen. Im übrigen sollen, wie oben erwähnt, die Neutralsalze als völlig gespalten gelten. Die folgende Tabelle 1 gibt die in dieser Weise für unsere sechs Fälle berechneten $H^{\cdot}$-Konzentrationen im Zusammenhange mit dem Stande der Titration. In der ersten Spalte sind die verbrauchten ccm Titrierflüssigkeit (*n*-Natronlauge für die Säuren, *n*-Salzsäure für die Basen) eingetragen, während die Spalten 2 bis 7 die negativ gesetzten Briggischen Logarithmen der $H^{\cdot}$-Konzentrationen enthalten. Die

Tabelle 1.

Titration von je 5 Millimolen einwertiger Säuren und Basen mit *n*-Natronlauge bzw. *n*-Salzsäure. Volum = 1000 ccm. Temp. 25°.

| Zugesetzte ccm Titrierflüssigkeit | $-log\ [H^{\cdot}]$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Salzsäure | Essigsäure | Phenol | Natronlauge | Ammoniak | *p*-Chloranilin |
| 0,00 | 2,30 | 3,54 | 6,10 | 11,70 | 10,46 | 7,90 |
| 0,10 | — | — | 8,20 | — | — | 5,80 |
| 0,25 | — | — | 8,61 | — | — | 5,39 |
| 0,50 | — | — | 8,93 | — | — | 5,07 |
| 1,00 | 2,40 | 4,18 | 9,28 | 11,60 | 9,82 | 4,72 |
| 2,00 | 2,52 | 4,58 | 9,71 | 11,48 | 9,42 | 4,29 |
| 3,00 | 2,70 | 4,92 | 10,06 | 11,30 | 9,08 | 4,00 |
| 4,00 | 3,00 | 5,36 | 10,36 | 11,00 | 8,64 | 3,64 |
| 4,50 | 3,30 | 5,70 | 10,56 | 10,70 | 8,30 | 3,44 |
| 4,75 | 3,60 | 6,02 | 10,68 | 10,40 | 7,98 | 3,32 |
| 4,90 | 4,00 | 6,52 | — | 10,00 | 7,48 | — |
| 5,00 | 7,00 | 8,22 | 10,76 | 7,00 | 5,78 | 3,24 |
| 5,10 | 10,00 | 10,00 | — | 4,00 | 4,00 | — |
| 5,25 | 10,40 | 10,40 | — | 3,60 | 3,60 | — |
| 5,50 | 10,70 | 10,70 | 10,95 | 3,30 | 3,30 | 3,05 |
| 6,00 | 11,00 | 11,00 | 11,11 | 3,00 | 3,00 | 2,89 |
| 7,00 | 11,30 | 11,30 | 11,34 | 2,70 | 2,70 | 2,66 |
| 8,00 | 11,48 | 11,48 | 11,49 | 2,52 | 2,52 | 2,51 |
| 9,00 | 11,60 | 11,60 | 11,60 | 2,40 | 2,40 | 2,40 |
| 10,00 | 11,70 | 11,70 | 11,70 | 2,30 | 2,30 | 2,30 |

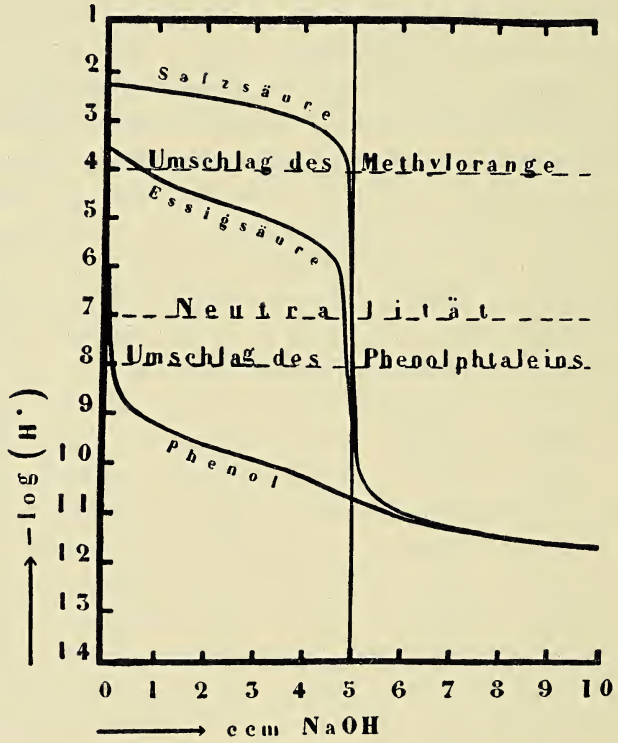
Logarithmen sind mit Rücksicht auf die weiter unten zu gebende graphische Darstellung gewählt worden, für die sich die Konzentrationen selbst wegen der ausserordentlichen Verschiebung ihrer Grössenordnung nicht eignen. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass für derartige Berechnungen zunächst nur einwertige Säuren und Basen in Betracht kommen können, da wir nur bei wenigen mehrwertigen über die Ionisationsverhältnisse der einzelnen Wertigkeits-

stufen genauer unterrichtet sind. Ein derartiges Beispiel, die Kohlensäure, wird weiter unten behandelt werden.

Viel anschaulicher wird die Abhängigkeit der $H^{\cdot}$-Konzentration bezw. ihres Logarithmus von dem Titrationszustande bei graphischer Darstellung. Die Werte der Tabelle 1 sind denn auch zur Konstruktion der in den Figuren 1 (für die Säuren) und 2 (für die Basen) wiedergegebenen Kurvenbilder benutzt worden. Solche Kurven können als „Titrationskurven" (oder Neutralisationskurven) bezeichnet werden und stellen also die $H^{\cdot}$-Konzentration als Funktion der zugesetzten Menge Titrierflüssigkeit dar. Aehnliche Diagramme sind schon früher mitgeteilt worden, z. B. für die Abhängigkeit des Potentials einer Wasserstoffelektrode von dem Titrationszustande der Lösung, in der sie sich befindet. Ihr Potential ist ja eine logarithmische Funktion der $H^{\cdot}$-Konzentration in der Lösung[1]). Betrachten wir die Figur 1. Die Salzsäurekurve fällt anfangs langsam, dann immer rascher, in der Nähe der die Aequivalenz zwischen Säure und Base anzeigenden, im Abszissenwert 5 errichteten Senkrechten aber ganz rapide ab, um im alkalischen Gebiete dann allmählich wieder eine immer kleinere Neigung gegen die Abszissenachse anzunehmen. Bei der Essigsäure erkennen wir schon einen wesentlich abweichenden Verlauf, indem anfangs ein steilerer, dann wieder ein weniger steiler Abfall, endlich aber bei der Annäherung an die Aequivalenzgerade ebenfalls ein Uebergang zum jähen Absturze, wenn auch nicht in dem Masse wie bei der Salzsäure, zu sehen ist. Die „alkalischen" Aeste beider Kurven fallen im wesentlichen zusammen. Sehr viel anders sieht die Kurve des Phenols aus. Hier liegt ganz am Anfange ein steiler Abfall, der jedoch bald in eine mässige Neigung übergeht; an Stelle des Absturzes beim Aequivalenzpunkte erkennen wir nur eine

1) W. Böttger, Z. f. physik. Chem. **24**, 253 (1897) und neuerdings J. E. Enklaar, ebenda, **80**, 617 (1912).

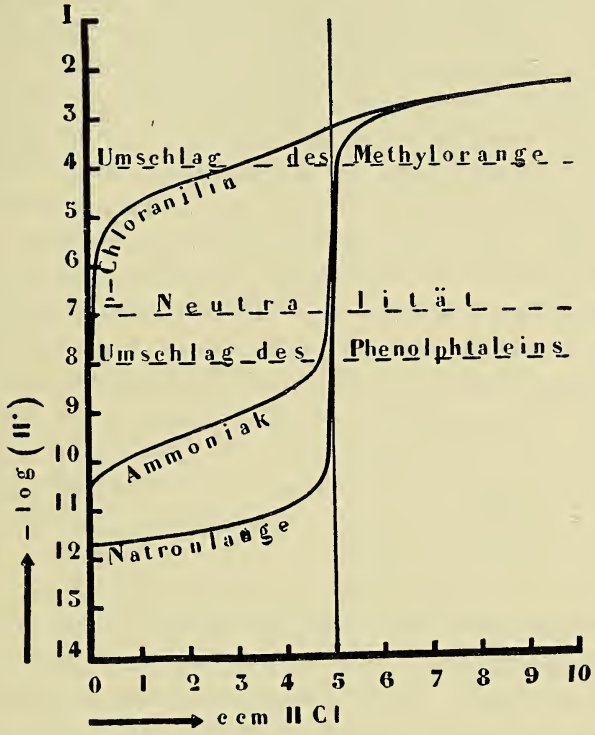
Figur 1.
Titration von 5 Millimolen Säure mit *n*-Natronlauge.
Volum = 1000 ccm. Temp. 25°.




ganz geringe Vermehrung der Neigung. Der alkalische Ast fällt erst in seinem weiteren Verlaufe mit dem der beiden anderen Kurven zusammen.

Betrachten wir im Anschlusse hieran gleich die Figur 2, so finden wir ganz entsprechende Unterschiede. Das Diagramm ist überhaupt, auf den Kopf gestellt, genau das Spiegelbild der Figur 1. Das ist ja auch verständlich, da Basen von gleicher Stärke wie die vorher betrachteten Säuren gewählt wurden, und da die $H^{\cdot}$- und $OH'$-Konzentrationen einander

Figur 2.
Titration von 5 Millimolen Base mit *n*-Salzsäure.
Volum = 1000 ccm. Temp. 25 °.




umgekehrt proportional sind. Die Verschiedenheit der Kurven findet sich hier im alkalischen Gebiet; die „sauren“ Aeste fallen bei der Natronlauge und dem Ammoniak fast schon von Anfang an zusammen, während der des *p*-Chloranilins sich erst weiterhin anschliesst.

Für die beabsichtigte quantitative Betrachtung brauchen wir nun noch die Indikatorenempfindlichkeiten. Die Umschlagniveaus von Methylorange und von Phenolphtalein sind bei den $H^{\cdot}$-Konzentrationen $10^{-4}$ und $10^{-8}$ in beide Dia-

gramme eingezeichnet (gestrichelte Gerade). Ausserdem findet sich in beiden Figuren das Neutralitätsniveau bei $10^{-7}\,n\,H^{\cdot}$. Wie man sieht, fallen Aequivalenz und Neutralität nicht überall zusammen. Genau trifft es nur bei Salzsäure und Natronlauge zu; bei Essigsäure und Ammoniak liegt der Aequivalenzpunkt schon im alkalischen bzw. im sauren Gebiet (Folgen der bekannten Hydrolyse der Acetate und der Ammoniumsalze). Beim Phenol verläuft sogar fast der ganze „saure" Ast im alkalischen, beim *p*-Chloranilin fast der ganze „alkalische" Ast im sauren Gebiet. Man müsste also eigentlich die betreffenden Kurvenäste als den des Säureüberschusses bzw. Basenüberschusses bezeichnen, und in diesem Sinne sollen jene abgekürzten Bezeichnungen auch angewandt werden, ohne Rücksicht auf den Charakter der tatsächlichen acidimetrischen Reaktion in den betreffenden Gebieten.

Was uns am meisten interessiert, ist nun die Frage, wo und wie die Titrationskurven die Umschlagniveaus durchschneiden. Denn daraus können wir alle Qualitäten der betreffenden Titration und auch die dabei vorliegenden quantitativen Verhältnisse ableiten.

Das Niveau des Methylorange geht in der Figur 1 durch die Salzsäurekurve nahe der Aequivalenzgeraden, durch die Essigsäurekurve schon nahe am Anfange und durch die des Phenols überhaupt nicht. Das bedeutet, dass sich Salzsäure mit Natronlauge und Methylorange als Indikator praktisch richtig titrieren lässt, Essigsäure dagegen, wenn der Umschlag brauchbar wäre (wovon gleich noch die Rede sein wird), jedenfalls mit einem Resultat, das erst mit einem grossen Umrechnungsfaktor multipliziert werden müsste, sodass man das Verfahren von vornherein als unpraktisch und relativ ungenau bezeichnen muss. Phenol mit Methylorange als Indikator zu titrieren, ist aber überhaupt unmöglich.

Das Niveau des Phenolphtaleins schneidet die Kurven der Salzsäure wie der Essigsäure nahe an der Aequivalenzgeraden, diese noch im sauren, jene schon im alkalischen

Ast. Für beide Fälle ergeben sich demnach, übereinstimmend mit der Erfahrung, richtige Resultate. Für die Phenolkurve gilt hier dasselbe, was oben beim Methylorange bezüglich der Essigsäurekurve gesagt wurde, nur noch in höherem Grade, da der Schnitt noch näher am Anfange erfolgt.

Das Kurvenbild gibt aber auch noch Aufschluss darüber, mit welcher Genauigkeit sich die brauchbaren Titrationen ausführen lassen, und welche Differenzen bei der Einstellung der betreffenden Säuren mit Hilfe des einen und mit Hilfe des anderen Indikators zu erwarten sind. Das Methylorange schlägt nach der Figur 1 um, wenn 0,1 ccm *n*-Lauge zu wenig, das Phenolphtalein, wenn etwa 0,03 ccm zu viel verbraucht sind. Das entspricht ja auch der bekannten Erfahrung, dass der Säuretiter bei der Einstellung mit Methylorange stets etwas niedriger ausfällt, als mit Phenolphtalein, und dass der letztere Wert der richtigere ist. Für die Essigsäure lässt sich bei Verwendung von Phenolphtalein ein Minderverbrauch von nur 0,013 ccm Lauge durch Interpolation aus dem Kurvenbilde entnehmen, d. h. die Titration ist fast theoretisch richtig.

In der Figur 2 liegt der Durchschnittspunkt des Methylorangeniveaus mit dem gemeinsamen sauren Aste der Kurven der Natronlauge und des Ammoniaks nahe an der Aequivalenzgeraden und zwar bei einem Mehrverbrauch von 0,1 ccm Säure. Beide Basen lassen sich also mit Methylorange sehr nahe richtig und mit dem gleichen Ergebnis titrieren (der alkalimetrische Titer fällt ein wenig zu hoch aus, was bekanntlich mit der Erfahrung stimmt). Für das *p*-Chloranilin gilt wieder in gewissem Grade die gleiche Ueberlegung, wie bei der Titration der Essigsäure mit Methylorange. Die Lage des Durchschnittspnnktes mit dem Methylorangeniveau ist allerdings etwas günstiger; doch ist der Umschlag aus einem anderen Grunde (s. weiter unten) unbrauchbar.

Das Phenolphtaleinniveau schneidet die Ammoniakkurve an noch günstigerer Stelle (bei nur 0,25 ccm Minderverbrauch

an Säure), aber auch hier ist der Umschlag aus dem gleichen Grunde, wie eben (Unschärfe) mangelhaft. Die Natronlaugekurve schneidet das Phenolphtaleinniveau in günstiger Weise und an günstiger Stelle, bei einem Minderverbrauch an Säure von nur 0,03 ccm. Die Differenz bei der Einstellung mit Hilfe der beiden Indikatoren beträgt bei der Natronlauge für die Titration mit Salzsäure 0,13 ccm (genau wie oben bei der Einstellung der Salzsäure mit Natronlauge, was zu erwarten war). *p*-Chloranilin mit Phenolphtalein als Indikator zu titrieren, ist natürlich unmöglich.

Weiterhin geben die Kurvenbilder Aufschluss über die Qualitäten der Indikatorenumschläge. Es seien zunächst einige Grundbegriffe festgelegt. Man spricht in der Praxis von scharfen und unscharfen Umschlägen der Indikatoren. Die damit charakterisierten Phänomene können durch Eigenschaften des Indikators selbst oder durch die Eigenschaften der bei der Titration in Reaktion tretenden Substanzen bedingt sein. Scharf nennt man den bei einer Titration eintretenden Umschlag, wenn sich die entscheidende Farbänderung innerhalb eines engen Titrationsintervalls, unscharf oder verwaschen, wenn sie sich über ein weiteres Titrationsintervall hin vollzieht. Wären die Umschlagsniveaus der Indikatoren wirklich scharfe Grenzlinien, wie bei der Diskussion der Diagramme zunächst angenommen wurde, dann gäbe es nur scharfe Umschläge. Denn dann würde der Uebertritt der Titrationskurve über die Grenzlinie (auch bei geringer, wenn nur überhaupt vorhandener Neigung gegen die Abszissenachse) zwischen zwei unendlich nahen Abscissenwerten d. h. innerhalb eines unendlich engen Titrationsintervalls erfolgen. In Wirklichkeit sind jene Umschlagsniveaus aber Umschlagszonen von recht verschiedener, vielfach freilich ziemlich geringer Breite, je nach den individuellen Eigentümlichkeiten des Indikators. Das ist ja auch gar nicht anders möglich: denn der Farbumschlag ist doch die Folge einer Gleichgewichtsverschiebung, und diese kann nach dem

Massenwirkungsgesetze nur allmählich vor sich gehen. Die Farbstärke oder der Farbton irgend eines Indikators sind also stetige Funktionen der $H^{\cdot}$-Konzentration, und wenn wir überhaupt vom Auftreten oder Verschwinden von Farben oder Farbgemischkomponenten sowie vom Konstantwerden der Farbe sprechen können, so ist das lediglich in unserem Unvermögen begründet, Farbstärken für sich allein oder in Gemischen noch wahrzunehmen, wenn sie unter eine gewisse Intensität sinken, und ebenso Farbstärke- oder Farbtondifferenzen unterhalb eines gewissen Betrages noch zu erkennen. Ein Indikator zeigt einen „an sich scharfen" Umschlag, wenn eine merkliche Farbänderung innerhalb eines engen $[H^{\cdot}]$-Intervalls erfolgt; andernfalls ist der Umschlag „an sich um so unschärfer", je stärker sich die $H^{\cdot}$-Konzentration ändern muss, damit die Farbänderung erkennbar wird. Es ist wohl zweckmässig, für diese Eigenschaft eines Indikators eine besondere Bezeichnung einzuführen, und die Ausdrücke „scharf" und „unscharf oder verwaschen" lediglich zur Charakterisierung des Verhaltens eines Indikators bei einer bestimmten Titration zu benutzen. Natürlich besteht zwischen beiden Phänomenen insofern ein enger Zusammenhang, als in der Praxis die Schärfe des Indikatorumschlages an sich auch der Schärfe des Titrationsumschlages zugute kommt; gleichwohl liegen hier zwei prinzipiell verschiedene Momente vor. Es sollen darum hinfort die Umschläge der Indikatoren an sich durch die Ausdrücke jäh (oder plötzlich) und flach (oder allmählich) gekennzeichnet werden. Ein Umschlag ist jäh, wenn er (fürs Auge erkennbar) innerhalb eines engen, flach, wenn er über ein weiteres $[H^{\cdot}]$-Intervall hin erfolgt. Unscharf kann auch ein Indikator mit jähem Umschlage reagieren, wenn eben die Titrationskurve nur schwach geneigt verläuft, scharf auch ein Indikator mit flachem Umschlage, wenn die Titrationskurve in der kritischen Gegend steil ist. So ist z. B. Methylorange ein flach umschlagender Indikator, und doch lässt sich Salzsäure damit

scharf titrieren, anderseits gibt das jäh umschlagende Phenolphtalein bei der Ammoniaktitration ziemlich unscharfe Umschläge

Kehren wir nun zu unseren Figuren zurück. Nach dem Vorstehenden wird die Wahrscheinlichkeit eines scharfen Umschlages um so grösser sein, unter je grösserem Winkel die Titrationskurve das Umschlagsniveau schneidet. Bei kleinem Durchschnittswinkel wird man, auch wenn man den Charakter des Indikators nicht näher kennt, mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen unscharfen Umschlag rechnen können. Betrachten wir die Diagramme von diesem Gesichtspunkte aus, so können wir sofort aus den Figuren ablesen, dass scharf sein werden die Umschläge:

mit Phenolphtalein bei der Salzsäure, der Essigsäure, der Natronlange und dem Phenol (dass letzterer ungünstig liegt, ist wieder eine Sache für sich);

mit Methylorange bei der Salzsäure, der Natronlauge und dem Ammoniak.

Typisch unscharf sind die Umschläge der Essigsäure und des *p*-Chloranilins mit Methylorange.

Es ist klar, dass sich derartige Betrachtungen auch für jeden anderen Indikator anstellen lassen, dessen Empfindlichkeit bekannt ist. Man braucht nur sein Umschlagsniveau in das Diagramm einzutragen und kann aus der Figur sofort das Erforderliche ablesen. Auch kann man auf diese Weise unter mehreren in Betracht kommenden Indikatoren denjenigen aussuchen, dessen Umschlagsniveau die Titrationskurve unter den günstigsten Bedingungen schneidet. Ausser möglichster Nähe des Schnittpunktes an der Aequivalenzgeraden kommen also die soeben erörterten Qualitäten des Umschlags in Frage. Wir haben mithin nunmehr die Möglichkeit einer quantitativen Indikatorenauslese. Vorbedingung ist aber natürlich in jedem Falle die Kenntnis der Titrationskurve, und zu ihrer Konstruktion benutzt man die Affinitätskonstante der zu titrierenden Säure oder Base. Diese ist für sehr viele Stoffe gemessen, nötigenfalls übrigens leicht zu ermitteln.

Dass sich die Titrationskurve auch experimentell direkt ohne vorherige Bestimmung der Affinitätskonstante finden lässt (man kann umgekehrt dann aus der Kurve die Affinitätskonstante ableiten), sei noch besonders erwähnt. Man misst die $H^{\cdot}$-Konzentration mit Hilfe der *EMK* von Gasketten (s. die Fussnote auf S. 11). Das letztere Verfahren ist sogar das einzig rationelle bei mehrwertigen Stoffen, über deren Ionisationsverhältnisse noch nichts Genaueres bekannt ist. Ausnahmsweise lässt sich die Titrationskurve auch bei zweiwertigen Stoffen konstruieren; dann müssen aber die Konstanten der einzelnen Wertigkeitsstufen genügend genau gemessen sein, und das ist nur ganz vereinzelt der Fall. Weiter unten wird, wie schon erwähnt, ein derartiges Beispiel, das der Kohlensäure, behandelt werden.

Zu diskutieren ist noch der Einfluss der Verdünnung und der Temperatur.

Die Verdünnung kann in zweierlei Hinsicht variiert werden. Einmal kann man bei unverändertem Ausgangsvolum und gleicher Substanzmenge die Titrierflüssigkeit verschieden konzentriert wählen. Das kann im Falle stärkerer Verdünnung der letzteren zur Folge haben, dass während der Titration das Gesamtvolum nicht mehr hinreichend konstant bleibt, und seine Aenderung bei der Rechnung berücksichtigt werden muss. Davon abgesehen betrifft eine derartige Aenderung jedoch lediglich den Massstab der Abszisse. Behält man als Einheit das ccm bei, so werden die Kurven durch Verdünnung der Titrierflüssigkeit in der Richtung der Abszissenachse auseinandergezogen und erscheinen mithin flacher, durch Konzentrieren zusammengeschoben und scheinbar steiler. In Wirklichkeit bleibt die Schärfe der Titration unverändert, wenn man, was rationeller ist, die Abszissen in Aequivalenten des Titriermittels misst, nicht in Kubikzentimetern, deren Wert mit der Verdünnung veränderlich ist. Von praktischer Bedeutung ist die Anwendung stärkerer Verdünnung der Titrierflüssigkeit in Fällen mit sehr steilen

Titrationskurven. Ihre Wirkung entspricht dann einfach einer Erhöhung der Ablesegenauigkeit.

Sodann aber kommt auch die Gesamtverdünnung in Frage, die sich zunächst nach dem Ausgangsvolum bzw. der angewandten Substanzmenge richtet. Hier haben wir einen prinzipiellen Einfluss auf den Verlauf der Titrationskurve. Es ist leicht einzusehen, dass mit steigender Verdünnung alle Titrationskurven schwächere Neigung erhalten müssen. Daraus ergibt sich die Folgerung, dass man Substanzen mit schwach geneigten Kurven, bei denen also wegen der geringeren Stärke die mit der Verdünnung fortschreitende Hydrolyse eine Rolle spielt, in nicht zu grosser Verdünnung titrieren darf, während starke Elektrolyte das schon eher vertragen.

Dem Einfluss der Temperatur wird in der Praxis bereits Rechnung getragen. Er kann in verschiedener Richtung liegen und beruht einesteils auf der Aenderung der Affinitätskonstanten der angewandten Titriersubstanzen mit der Temperatur, woraus sich ein Steiler- oder ein Flacherwerden der Titrationskurve ergeben kann (vor allem Berücksichtigung des sehr bedeutenden Fortschritts der Hydrolyse bei Temperaturerhöhung), andernteils auf der Verschiebung des Chromotropiegleichgewichtes der Indikatorsubstanzen. Letzteres kann zu einer Erhöhung oder zu einer Erniedrigung der Empfindlichkeit führen und würde in vielen Fällen sich rechnerisch in derselben Weise berücksichtigen lassen, wie eine entsprechende Aenderung der Affinitätskonstante des Indikators nach der älteren Auffassung. Eine derartige Farbgleichgewichtsverschiebung findet z. B. beim *p*-Nitrophenol statt, dessen schwach gelbe Farbe in rein wässeriger Lösung sich beim Erhitzen bis zum Sieden merklich verstärkt, um beim Abkühlen wieder auf den alten Farbton zurückzugehen.

Als Beispiel einer zweibasischen Säure, deren Titration auch eine erhebliche praktische Bedeutung besitzt, möge die Kohlensäure besprochen werden, über deren Ionisationsverhältnisse wir jetzt genügend unterrichtet sind. Aus jüngster

Zeit verdanken wir insbesondere den Untersuchungen von Auerbach und Pick[1]) eine vortreffliche Aufklärung der hier in Frage kommenden Gleichgewichtsverhältnisse. Wir setzen die Affinitätskonstante für die erste Säurestufe $k_1 = 3 \cdot 10^{-7}$, für die zweite $k_2 = 6 \cdot 10^{-11}$ bei 25° (der Wert für $k_1$ gilt eigentlich für 18°, doch wurde angenommen, dass sein Temperaturkoëffizient, gleich dem von $k_2$, klein ist). Unter Benutzung der ausführlichen Erörterungen von Auerbach und Pick erhält man dann für verschiedene Mischungen von Kohlensäure und Bicarbonat, Bicarbonat und Carbonat, Carbonat und Lauge, sowie für Lösungen der reinen Substanzen $H^{\cdot}$-Konzentrationen, deren Logarithmen in der Tabelle 2 und zwar in der Spalte mit der Ueberschrift „ohne Bariumchlorid" zusammengestellt sind.

Auf Einzelheiten der Berechnung kann hier nicht näher eingegangen werden. Die Rechnung ist teilweise sehr unbequem; in solchen Fällen wurde statt der zu einem bestimmten Mischungsverhältnis gehörigen $H^{\cdot}$-Konzentration das zu einer bestimmten $H^{\cdot}$-Konzentration gehörige Mischungsverhältnis ermittelt, was einfacher ist. Daraus erklärt sich die z. T. etwas auffallende Wahl der Werte in der ersten Spalte.

In der dritten Spalte finden sich Logarithmen von $H^{\cdot}$-Konzentrationen, wie sie sich für $Ba^{\cdot\cdot}$-haltige Lösungen berechnen. Bekanntlich titriert man die Gesamtkohlensäure (freie Säure + Bicarbonat) in der Weise, dass man mit einem Ueberschuss von Barytwasser versetzt und den nicht als Bariumcarbonat gefällten Baryt mit Säure zurücktitriert, wobei Phenolphthalein als Indikator dient. Die Gegenwart des Bariumsalzes erniedrigt wegen der Schwerlöslichkeit des Bariumcarbonats die Konzentration des $CO_3''$ in der Lösung und damit auch die von der Hydrolyse des Carbonations herrührende $OH'$-Konzentration, die in rein wässerigen Lösungen von $BaCO_3$ eine intensive Rötung des Phenol-

1) Arb. a. d. Kaiserl. Gesundh.-Amte 38, 243 (1911).

Tabelle 2.

Titration von 5 Millimolen Kohlensäure mit *n*-Natronlauge (ohne und mit Bariumchlorid). Volum = 500 ccm. Temperatur 25 °.

| ccm Natronlauge | $-log\ [H^{\cdot}]$ | |
|---|---|---|
| | ohne Bariumchlorid | mit Bariumchlorid (10 Millimole) |
| 0,00 | 4,26 | — |
| 0,50 | 5,57 | — |
| 1,00 | 5,92 | — |
| 2,00 | 6,35 | — |
| 3,00 | 6,70 | — |
| 4,00 | 7,13 | — |
| 4,50 | 7,48 | — |
| 4,75 | 7,99 | — |
| 5,00 | 8,40 | — |
| 5,27 | 9,00 | — |
| 5,80 | 9,50 | — |
| 6,93 | 10,00 | — |
| 8,00 | — | 6,23 |
| 8,29 | 10,50 | — |
| 9,00 | — | 6,58 |
| 9,27 | 10,80 | — |
| 9,50 | — | 6,93 |
| 10,00 | 11,05 | 8,90 |
| 10,10 | — | 10,30 |
| 10,25 | — | 10,70 |
| 10,50 | — | 11,00 |
| 11,00 | 11,42 | 11,30 |
| 12,00 | 11,64 | 11,60 |
| 13,00 | 11,80 | 11,78 |
| 14,00 | 11,91 | 11,90 |
| 15,00 | 12,01 | 12,00 |

phtaleins hervorruft. Dementsprechend muss die $H^{\cdot}$-Konzentration in Gegenwart von $Ba^{\cdot\cdot}$ höher liegen als in $Ba^{\cdot\cdot}$-freien Lösungen gleicher Konzentration und Zusammensetzung. Das geht aus der Tabelle 2 auch ganz deutlich hervor.

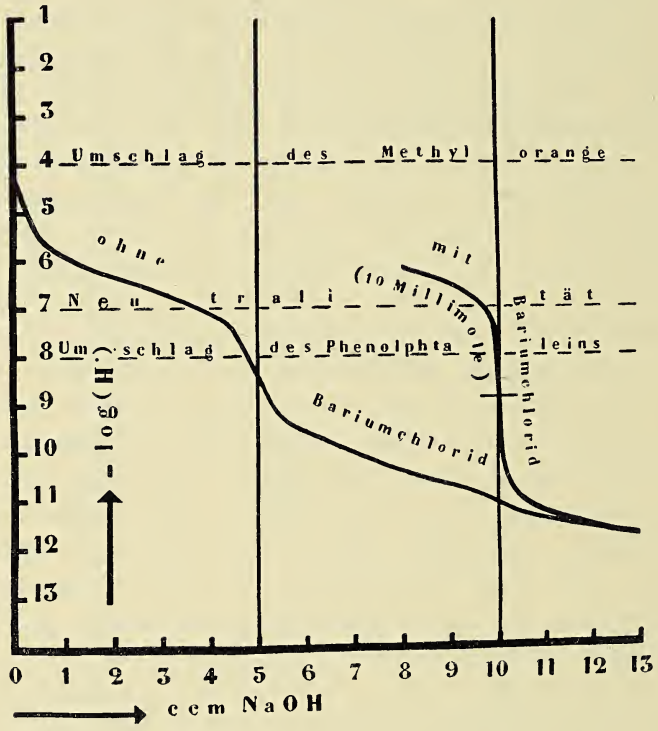
Die Berechnung der Werte der dritten Spalte erforderte die Kenntnis der Löslichkeit des Bariumcarbonats. Nach der Handbuchliteratur beträgt sie 0,025 g im Liter Wasser von Zimmertemperatur. Die Lösung ist also $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ *m—n*. Da aber die Konzentration des $CO_3''$ in dieser Lösung durch die Hydrolyse, wie sich aus dem Kohlensäuregleichgewichte ergibt, auf $0{,}435 \cdot 10^{-4}$ *m—n* herabgedrückt wird, ist das Löslichkeitsprodukt nicht $(1{,}3 \cdot 10^{-4})^2$, sondern nur $5{,}66 \cdot 10^{-9}$. Auf dieser Grundlage ist die Rechnung durchgeführt worden. Die vereinfachende Annahme, dass das Bariumsalz in der vorliegenden Verdünnung (0,01 bis 0,02 *m—n*) völlig gespalten sei, ist zwar nicht streng richtig und bringt darum einen Fehler ins Resultat; doch ist dieser ohne prinzipielle Bedeutung und kann die betreffende Titrationskurve nur um einen sehr geringen Betrag nach oben verschieben.

Zur Veranschaulichung der Sachlage benutzen wir wieder die graphische Darstellung. Dazu dient die Figur 3.

Das Diagramm zeigt zwei Kurven, eine längere, die für die bariumsalzfreie, und eine kürzere, die für die bariumsalzhaltige Lösung gilt. Bei 5 und bei 10 ccm Lauge sehen wir je eine Aequivalenzgerade. Die erste entspricht der Absättigung der ersten Säurestufe (Bicarbonat), die zweite derjenigen der zweiten Stufe (Carbonat).

Verfolgen wir zunächt den Verlauf der Titrationskurve bei Abwesenheit von Bariumchlorid. Die Kurve zeigt am Anfange den für schwächere Säuren charakteristischen relativ steilen Abfall, dem ein flacheres Stück folgt; in der Nähe der ersten Aequivalenzlinie ist der Abfall zum zweiten Male steiler, um dann zwischen der ersten und zweiten Aequivalenzlinie abermals einem schwach geneigten Kurvenstück Platz zu machen. Die Absättigung der zweiten Säurestufe gibt sich kaum andeutungsweise durch ein drittes steileres Stück beiderseits der zweiten Aequivalenzlinie zu erkennen. Endlich folgt dann der flache alkalische Ast jenseits 10 ccm Lauge. Für das Verhalten der Kohlensäure bei der direkten Titration

Figur 3.
Titration von 5 Millimolen Kohlensäure mit *n*-Natronlauge. Volum = 500 ccm. Temp. 25°.




mit Natronlauge in bariumsalzfreier Lösung ergibt sich aus dem Kurvenbilde die Folgerung, dass auf eine Titrierbarkeit der zweiten Stufe überhaupt nicht zu rechnen ist. Dagegen lässt der relativ steile Kurventeil in der Nähe der ersten Aequivalenzgeraden die Titration der ersten Stufe als möglich erscheinen. Freilich liegt die Kurve für reines Bicarbonat (5 ccm Lauge) schon ein wenig unterhalb des Phenolphthaleinniveaus; jedoch würde das an sich die Titration nicht hindern. Man müsste nur nicht auf den ersten

erkennbaren Umschlag nach Rosa titrieren, sondern bis zu einer Normalfarbe, die der Lage des Durchschnittspunktes der Titrationskurve mit der ersten Aequivalenzlinie entspricht. Die Verhältnisse liegen hier sogar für die Benutzung einer Normalfarbe recht günstig, da jede beliebige Bicarbonatlösung innerhalb eines weiten Konzentrationsintervalls mit der gleichen Indikatormenge die gleiche Färbung, eben die gewünschte Normalfarbe, geben muss, wie aus den Untersuchungen von Auerbach und Pick hervorgeht. Auf diese Frage wird später noch einzugehen sein.

Wir wenden uns jetzt zur zweiten Kurve (Gegenwart von Bariumchlorid). Geht man von einem Punkte der vorher besprochenen Kurve, etwa dem mit der Abszisse 8 ccm, aus und fügt zu einem solchen Gemisch 10 Millimole Bariumchlorid, so schnellt die $H^{\cdot}$-Konzentration plötzlich um vier Zehnerpotenzen in die Höhe, indem sich die Konzentration des $CO_3''$ in der Lösung verringert, während grössere Mengen freier Kohlensäure entstehen. Der weitere Verlauf der neuen Kurve weicht nun sehr wesentlich von dem der ersten Kurve ab. Anstelle des ganz verwaschenen Ueberganges bei Absättigung der zweiten Säurestufe, wie ihn die erste Kurve zeigt, sehen wir bei der zweiten einen ganz steilen Abfall, der durchaus an das Verhalten starker Säuren erinnert. Die Kurve schneidet die zweite Aequivalenzlinie allerdings ziemlich weit unterhalb des Phenolphtaleinniveaus (durch einen kurzen Strich parallel zur Abszissenachse angedeutet), jedoch geht sie durch das letztgenannte Niveau in so unmittelbarer Nachbarschaft der zweiten Aequivalenzlinie hindurch, dass sich daraus ohne weiteres die Titrierbarkeit der zweiten Stufe der Kohlensäure in Gegenwart von Bariumchlorid ergibt. Der Umschlag muss scharf sein, weil die Kurve hier sehr steil verläuft. Alles das stimmt ja auch vollkommen mit der praktischen Erfahrung überein. In der Praxis wird die $H^{\cdot}$-Konzentration bei der Titration allerdings in rückläufigem Sinne auf

unserer Kurve verschoben, indem man einen Ueberschuss von Barytwasser zusetzt und mit starker Säure zurücktitriert. Das ist aber kein prinzipieller Unterschied, und in der Tat haben denn auch besondere Versuche den Nachweis geliefert, dass man die zweite Stufe der Kohlensäure auch in der gewöhnlichen Weise direkt mit Natronlauge titrieren kann, wenn man nach Zusatz von Bariumchlorid einfach weitertitriert, bis eine bei fortgesetztem Rühren nicht mehr verschwindende Rosafärbung auftritt. Sehr charakteristisch ist dabei die plötzliche Entfärbung der vorher stark roten Lösung, sobald die Ausfällung des Bariumcarbonats einsetzt. Nach alledem sollte man also vom theoretischen Standpunkte aus erwarten, dass die Titration der Kohlensäure in der ersten wie in der zweiten Stufe sich ohne nennenswerte Schwierigkeiten durchführen liesse. Die indirekte Titration mit Baryt und Bariumchlorid ist ja auch eine in der Praxis viel gebrauchte Methode zur Bestimmung der Gesamtkohlensäure. Auch die direkte Titration der ersten Stufe ist schon angewandt worden, wenn auch mit nicht voll befriedigendem Erfolge. Erst neuerdings haben Tillmans und Heublein[1]) nachgewiesen, dass sie in zweckmässiger Ausführung für die Bestimmung der freien Kohlensäure im Wasser sehr brauchbar ist. Dabei wird als Endpunkt die erste erkennbare Rotfärbung mit Phenolphtalein benutzt, was nach unserer Titrationskurve eigentlich nicht streng richtig sein sollte. Gleichzeitig mit diesen Untersuchungen habe ich nun Versuche angestellt, die weniger auf die Bedürfnisse der Praxis Rücksicht nahmen, als zur Aufklärung gewisser Fehlerquellen dienen sollten, für die sich bei orientierenden Vorversuchen Andeutungen fanden. Um die Farbänderungen recht auffallend zu machen, wurde einmal mit relativ sehr grossen Indikatorkonzentrationen gearbeitet, andererseits wurden auch die Zusätze von Bariumsalzen nur so stark

1) Z. f. Unters. d. Nahr.- und Genussmittel **24**, 429 (1912)

bemessen, dass zwar ein Abblassen, aber kein völliges Verschwinden der Farbe wässeriger Bariumcarbonatlösung eintrat. Diese Massnahme hat zur Auffindung sehr eigenartiger Veränderungen bei Erdalkalicarbonaten geführt.

Es wurde also derart verfahren, dass Kohlensäurelösungen unter Zusatz von Phenolphtalein zunächst bis zur ersten erkennbaren Rosafärbung (Umschlag I), sodann bis zu einer Normalfärbung (Umschlag II) titriert wurden; die Normalfärbung lieferten Lösungen von Bicarbonat gleicher Konzentration (an Salz und an Indikator). Dann wurde nach Zusatz von Bariumchlorid in gemessener Konzentration weiter titriert, bis die bei Beginn der Fällung des Bariumcarbonats zunächst entfärbte Flüssigkeit die erste erkennbare Rosafärbung zeigte, die auch bei fortgesetztem Umrühren nicht verschwand (Umschlag III). Die so erhaltenen Werte wurden dann auch noch durch Ergebnisse der Rücktitration unter gleichen Konzentrationsverhältnissen kontrolliert.

Dabei zeigte sich nun die auffallende Erscheinung, dass schon bis zum Umschlag I (erst recht natürlich bis II) mehr als die Hälfte derjenigen Laugenmenge verbraucht wurde die zur Hervorbringung des Umschlags III erforderlich war, während sich die Mengen theoretisch natürlich wie 1 : 2 verhalten sollten. Das konnte darin seinen Grund haben, dass entweder für I (bezw. II) zuviel oder für III zu wenig Lauge gebraucht wurde. Die erstere Annahme ist recht unwahrscheinlich, denn ganz abgesehen von den neueren Untersuchungen, auf Grund deren wir die Titrationskurve der Kohlensäure konstruiert haben, ist ja schon in der grundlegenden Arbeit von F. W. Küster über die Titration carbonathaltiger Alkalilaugen [1]) der Nachweis geführt worden, dass auch reines Natriumbicarbonat Phenolphtalein in wässeriger Lösung infolge von Hydrolyse merklich rötet. Wenn man also nur bis zur ersten erkennbaren Verfärbung

1) Z. f. anorg. Chem. **13**, 127 (1897).

titriert, kann man höchstens zu wenig, niemals aber zu viel Lauge verbrauchen. Folglich muss der Fehler in der Titration der zweiten Stufe begründet liegen. Nach unserer Titrationskurve ist auch das nicht wahrscheinlich. In der Tat zeigte sich, dass der Fehler sich auch durch die Einführung einer Normalfärbung nicht ganz beseitigen liess, wenngleich eine gewisse Verbesserung des Ergebnisses, die auch das Kurvenbild vorhersehen lässt, zu bemerken war. Als Grund der immer noch verbleibenden Abweichungen in der angegebenen Richtung wurde schliesslich folgendes erkannt. Die zweite Titrationskurve (mit Bariumchlorid) ist ja unter Benutzung des in der Handbuchlitteratur enthaltenen Wertes für die Löslichkeit des Bariumcarbonats konstruiert worden. Wenn nun diese letztere unter den Bedingungen der Titration einen anderen Wert besitzt, muss sich damit auch die Titrationskurve verschieben, und es kann dann der Durchschnittspunkt mit dem Phenolphtaleinniveau weiter weg von der Aequivalenzlinie rücken. Das ist nun tatsächlich der Fall, und zwar ist die Löslichkeit nicht unwesentlich höher anzusetzen.

Die Zahlen der Tabelle 3 geben darüber Auskunft.

Die Versuche, deren Ergebnisse hier zusammengestellt sind, wurden folgendermassen ausgeführt. Eine gesättigte Lösung von Kohlendioxyd (Atmosphärendruck, Zimmertemperatur) wurde abpipettiert (überall 50 ccm). Hierbei ergaben sich je nach der bei dieser Operation angewandten Vorsicht schwankende Verluste an Kohlendioxyd. Die höchsten Werte wurden in leidlicher Uebereinstimmung erhalten, wenn die Lösung nicht aufgesaugt, sondern in die Pipette von unten eingedrückt, und die Entleerung unter einer Atmosphäre von Kohlendioxyd vorgenommen wurde. Doch kommt es bei diesen Versuchen ja nicht auf die Konstanz der Kohlensäurekonzentration an, sondern auf das Verhältnis der für die Absättigung der beiden Stufen verbrauchten Laugenmengen. Ausser der Art der Volumabmessung ist

Tabelle 3.

Titration beider Stufen der Kohlensäure mit Natronlauge (0,4826 *n*). (Verbrauchte ccm Lauge auf 50 ccm Kohlensäurelösung.)

| Versuch Nr. | erste Stufe (ohne Bariumchlorid) | | zweite Stufe (mit Bariumchlorid) | | | Zusatz ccm 0,5 *m-n* $BaCl_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | |
| | | a | | a | | |
| 1 | 4,10 | 4,21 | — | 8,04 | — | 10 |
| 2 | 3,63 | 3,79 | 7,10 | 7,19 | 7,12 | 10 |
| 3 | 3,83 | 3,97 | 7,53 | 7,56 | 7,54 | 10 |
| 4 | 3,85 | 3,97 | — | 7,63 | 7,65 | 10 |
| 5 | 3,84 | 4,00 | — | 7,63 | 7,61 | 10 |
| | | | | b | | |
| 6 | 4,02 | 4,16 | — | 8,05 | — | 5 |
| | | b | | | | |
| 7 | — | 3,99 | — | 7,85 | — | 5 |
| 8 | — | 3,90 | — | 7,69 | — | 5 |
| 9 | — | 3,97 | — | 7,84 | — | 5 |
| | | | | c | | |
| 10 | 3,94 | 4,03 | — | 8,01 | — | 5 |
| 11 | 3,88 | 3,96 | — | 7,85 | — | 5 |
| 12 | 3,92 | 4,00 | — | 7,89 | — | 5 |

für die gefundene Gesamtmenge von Bedeutung das Abdunsten von Kohlendioxyd während des Versuches selbst. Man verhindert das am besten in der Weise, dass man die Kohlensäurelösung in ein grösseres Volum Wasser einfliessen lässt, dem die Hauptmenge der bei der Titration voraussichtlich zu verbrauchenden Lauge (durch einen Vorversuch zu ermitteln) schon vorher zugefügt worden ist. Wenn so der grösste Teil der Säure vor der eigentlichen Titration

schon gebunden ist, schadet nachher auch nicht das in den letzten Phasen der Titration unentbehrliche Umrühren. Es wurden überall 150 ccm sorgfältig ausgekochtes Wasser angewandt, dem bis zu $^9/_{10}$ der Gesamtmenge der Lauge schon vorher zugefügt wurden. Als Indikator diente überall 1 ccm 1 %ige alkoholische Phenolphtaleinlösung. Bei einem Teil der Versuche wurden je 10 ccm, bei den andern je 5 ccm einer 0,5 *m*—*n*-Bariumchloridlösung zugesetzt, bevor die Titration der zweiten Stufe erfolgte. Die Spalte mit I enthält die Laugenmengen, die bis zum Auftreten der ersten erkennbaren Färbung bei der Titration der ersten Stufe erforderlich waren, II die Ergebnisse der Titration bis zur Normalfärbung. Diese wurde in verschiedener Weise hergestellt. Bei II a wurde reinstes käufliches Natriumbicarbonat (Kahlbaum) benutzt, bei II b ein besonders gereinigtes Präparat (s. weiter unten). Die Konzentration war in der Vergleichslösung dieselbe wie in der Versuchslösung. Die Spalte III bezieht sich auf den ersten erkennbaren Umschlag bei der Absättigung der zweiten Stufe in Gegenwart von Bariumsalz, während die Spalte IV die mit Vergleichslösung gewonnenen Ergebnisse enthält. Bei den Werten IVa diente als Vergleichslösung eine für reinstes käufliches Bariumcarbonat (Kahlbaum) gesättigte Lösung mit der gleichen Konzentration an überschüssigem Bariumchlorid und natürlich auch an Indikator, wie in der Versuchslösung. In IV b wurde durch Fällung von Natriumcarbonatlösung mit überschüssigem Bariumchlorid gewonnenes Bariumcarbonat benutzt, dessen Mutterlauge die gleiche Zusammensetzung hatte, wie die Versuchslösung am Ende der Titration. Bei IV c endlich war bei der Vergleichslösung nicht nur die Zusammensetzung der Mischung, sondern auch das Alter des Niederschlages ebenso gewählt, wie bei der Versuchslösung. Spalte V enthält noch einige Ergebnisse der Rücktitration überschüssiger Natronlauge mit Salzsäure bis zur Normalfärbung IV.

Vergleicht man die Spalten I bzw. II und IV a, so erkennt man ohne weiteres, dass bei IV die Normalfärbung a offenbar noch zu blass sein muss; denn das Zweifache des Wertes I, der sicherlich zu klein ist, ist überall grösser als IV a. Die Normalfärbung IV b ist schon richtiger, wie der Versuch 6 zeigt; denn hier ist der Wert IV fast genau das Doppelte vom Werte I. Es scheint also, dass frisch gefälltes Bariumcarbonat eine stärkere Färbung mit Phenolphtalein gibt, als ein altes käufliches Präparat unter genau den gleichen Bedingungen. Das ist ja auch nicht weiter wunderbar, sondern stimmt gut zu der ziemlich allgemeinen Erfahrung, dass frisch gefällte Niederschläge die Erscheinung des „Alterns" zeigen. Hier hätten wir in der Färbung der Lösung mit Phenolphtalein direkt ein optisches Kriterium für den Alterungszustand der Niederschläge. Wenn die soeben gegebene Erklärung richtig ist, müssen die relativ höchsten Werte von IV bei der Titration auf eine mit möglichst jungen Präparaten hergestellte Normalfärbung gewonnen werden. Das ergibt tatsächlich die Betrachtung der Reihe IV c, deren Werte sämtlich grösser sind, als das Doppelte der zugehörigen Werte I. Wir haben also nunmehr, wenn wir die Normalfärbung IV c benutzen, das richtige Verhältnis, dass die Titration der ersten Stufe bis zur ersten erkennbaren Verfärbung etwas zu wenig ergibt, wenn wir die Hälfte des bis zur Erreichung der Färbung IV c verbrauchten Quantums Lauge als den richtigen Wert für jede der beiden Stufen gelten lassen. Wir dürfen also nicht die erste erkennbare Rosafärbung mit Phenolphtalein als Endreaktion bei der Absättigung der ersten Stufe nehmen, sondern müssen, wie oben schon begründet, bis zu einer Normalfärbung titrieren. Die Erreichung der in II a verwandten Färbung (mit reinstem käuflichem Bicarbonat) erfordert durchschnittlich ein Mehr von 0,14 ccm Lauge. Das ist offenbar nicht richtig. Es liess sich nämlich in dem käuflichen Bicarbonat eine recht beträchtliche, von Stelle zu

Stelle im Präparat stark wechselnde Verunreinigung mit Carbonat, dessen regelmässiges Vorkommen im Handelsbicarbonat ja bekannt ist, nachweisen. In einer Durchschnittsprobe wurden bei der Untersuchung nach der weiter unten genannten Methode 6,42 und 6,47 % $Na_2CO_3$ gefunden. Dass ein solches Präparat viel zu tiefe Farbtöne gibt, ist danach kein Wunder. Es wurde daraufhin die Darstellung eines möglichst carbonatfreien Bicarbonats versucht. Dabei wurden alle Operationen, die der Abspaltung von Kohlensäure günstig sind, vermieden, wie z. B. das Erwärmen mit Wasser. Es wurde darum das Salz nicht in warmem Wasser gelöst und unter Sättigung mit Kohlendioxyd durch Abkühlen zur Krystallisation gebracht, sondern in der Kälte mit dauernd gesättigter Kohlensäurelösung lange Zeit digeriert. Nach raschem Absaugen auf einer Nutsche wurde das Salz mit kohlendioxydgesättigtem, trockenem Alkohol, endlich mit ebensolchem Aether gewaschen und so von Wasser befreit, schliesslich möglichst kurze Zeit zwischen Filtrierpapier gepresst und bis zur Staubtrockne geschüttelt. Ein solches Präparat enthielt im günstigsten Falle nur noch 0,56% $Na_2CO_3$. Ein Präparat mit 1,09 % Carbonat diente zu den Normalfärbungen II b. Die damit erhaltene Färbung, die doch höchstens noch zu intensiv sein kann, war auffallenderweise sehr viel blasser, als die Färbung einer Boratmischung nach Sörensen mit der $H^{\cdot}$-Konzentration $10^{-8,4}$, die nach Sörensen wie nach Auerbach und Pick die gleiche $H^{\cdot}$-Konzentration besitzt, wie eine verdünnte Bicarbonatlösung. Auch unsere Titrationskurve ist ja unter dieser Annahme gezeichnet. Da die für die Kurve gewählte Verdünnung fast genau mit der bei den obigen Versuchen vorliegenden übereinstimmt, müsste sich die Entfernung des Durchschnitts der Kurve mit dem Phenolphtaleinniveau von der Aequivalenzlinie direkt aus der Zeichnung auf unsere Versuche übertragen lassen. Dort beträgt der Abstand 0,25 ccm auf 5 ccm, hier 0,14 ccm auf rund 4 ccm für das

sehr unreine käufliche und nur 0,08 ccm um Mittel auf 4 ccm für das sehr viel reinere, aber immer noch nicht absolut carbonatfreie Präparat in der Reihe II b. Es liegt hier also ein gewisser Widerspruch vor. Es ist immerhin nicht ausgeschlossen, wenngleich angesichts der bei den citierten Arbeiten offenbar aufgewandten Sorgfalt nur als Vermutung auszusprechen, dass sowohl Sörensen als auch Auerbach und Pick doch nicht ganz reines Bicarbonat in Händen gehabt haben. Die gewöhnlich angewandte Prüfungsmethode mit Hilfe des alkalimetrischen Titers ist nicht ganz zuverlässig, weil ein Gehalt an Carbonat, der den Titer erhöhen würde, durch Feuchtigkeit z. T. oder ganz kompensiert werden kann. Sicherer ist die quantitative Gewichtsanalyse, die sich sehr leicht durchführen lässt und vortrefflich übereinstimmende Ergebnisse liefert. Man verfährt einfach so, dass man etwa 3 g Substanz im Schiffchen in einem Strome kohlendioxydfreier Luft erhitzt (Verbrennungsrohr, Schnittbrenner) und das entweichende Wasser und Kohlendioxyd in vorgelegten Chlorcalciumröhren bezw. Kaliapparaten auffängt und wägt. Schaltet man je zwei Chlorcalciumröhren und Kaliapparate hintereinander, so kann man einen ziemlich flotten Gasstrom erzeugen, ohne einen Verlust an Wasser oder an Kohlendioxyd befürchten zu müssen. Anderseits ist bei dieser Art der Erhitzung, wenn man nicht etwa bis zum Weichwerden des Glases geht, eine Zerlegung von Natriumcarbonat nicht zu bemerken. Bei der Wägung so umfangreicher Glasapparate sind kleine Gewichtsdifferenzen unbekannten Ursprunges nicht gut zu vermeiden. Sie waren stets negativ und sind mit „Verlust“ bezeichnet. Aus dem Gewichte des absorbierten Kohlendioxyds berechnet sich die in der Substanz ursprünglich vorhandene Menge von Bicarbonat. Ihr entspricht natürlich auch ein bestimmter Anteil an dem aufgefangenen Wasser. Der Rest des Wassers ist als „Feuchtigkeit“ bezeichnet und kann teils adsorbiert sein, teils als Krystallwasser zu dem vorhandenen Carbonat

gehören. Letzteres ergibt sich aus dem Ueberschusse des gefundenen Carbonats (Rückstand im Schiffchen), über die dem berechneten Bicarbonat entsprechende Menge Glührückstand. Zwei Analysen reinsten käuflichen Natriumbicarbonats lieferten die nachstehend angegebenen Analysenresultate, nach denen sich die Brauchbarkeit der Methode beurteilen lässt. Die Substanz war vorher sorgfältigst zerrieben und durchgemischt worden, was bei derartigen Präparaten von sehr ungleichmässiger Zusammensetzung doppelt nötig ist.

| | I | II |
|---|---|---|
| Substanz | 3,3606 g | 2,8933 g |
| Glührückstand | 2,1706 „ | 1,8708 „ |
| Glühverlust | 1,1900 g | 1,0225 g |
| Kohlendioxyd | 0,8114 g | 0,6988 g |
| Wasser | 0,3783 „ | 0,3230 „ |
| Verlust | 0,0003 „ | 0,0007 „ |
| Summe | 1,1900 g | 1,0225 g |
| Zusammensetzung: | | |
| Natriumbicarbonat | 92,20 % | 92,23 % |
| Natriumcarbonat | 6,42 % | 6,47 % |
| Feuchtigkeit | 1,37 % | 1,28 % |
| Summe | 99,99 % | 99,98 % |

Legt man der Berechnung die Mittelwerte aus vorstehenden Bestimmungen mit 92,215 % $NaHCO_3$, 6,445 % $Na_2CO_3$ und 1,325 % Feuchtigkeit zu Grunde, so findet man, dass der alkalimetrische Titer dieses unreinen Bicarbonats gegenüber chemisch reinem Bicarbonat um 2,43 % zu gross ausfallen muss, während er bei demselben Verhältnis von Bicarbonat zu Carbonat, aber bei Abwesenheit von Feuchtigkeit, um 3,82 % zu hoch sein würde. Die Feuchtigkeit hat also den alkalimetrischen Fehler fast zur Hälfte kompensiert.

In einem andern Falle wurde bei gereinigtem Bicarbonat eine Zusammensetzung von 98,38 % Bicarbonat, 1,09 %

Carbonat und 0,37 % Feuchtigkeit gefunden. Hier liegt der Titer nur um 0,12 % zu hoch, einen kaum mehr mit Sicherheit nachweisbaren Betrag, während der Fehler ohne die kompensierende Wirkung der Feuchtigkeit 0,65 % betragen würde. Daraus geht wohl mit aller Deutlichkeit hervor, dass in derartigen Fällen an Stelle der nicht eindeutigen alkalimetrischen Analyse die vollständige quantitative Gewichtsanalyse angewandt werden muss; denn nur so lassen sich geringe Verunreinigungen durch Carbonat, die für die acidimetrische Stufe der Lösungen eines solchen Präparates von Bedeutung sein können, sicher nachweisen.

Das zuletzt genannte Bicarbonatpräparat mit 1,09 % diente in den Versuchen der Reihe IIb (Tabelle 3) zur Herstellung der Normalfärbungen. Wir können die Ergebnisse der quantitativen Analyse nunmehr zur Beurteilung der Abweichungen zwischen den Werten II und den halben Werten IV benutzen. Der richtige Wert für die erste Stufe liegt ja zwischen I und II. Die Zusammensetzung unseres Präparates entspricht einem Bicarbonat, dem etwa 1 % Alkali mehr zugefügt wurde, als zur Absättigung der ersten Stufe der Kohlensäure erforderlich gewesen war. Das würden in unseren Falle, da im ganzen etwa 4 ccm Lauge gebraucht werden, 0,04 ccm sein. Diesen Betrag hätten wir also von den Werten der Spalte II abzuziehen. Wir erhalten dann die folgenden Zahlen, denen zum Vergleiche die halben Werte IV gegenübergestellt seien.

| | korrigierter Wert II | halber Wert IV |
|---|---|---|
| Versuch 10 | 3,99 | 4,005 |
| Versuch 11 | 3,92 | 3,925 |
| Versuch 12 | 3,96 | 3,945 |

Wie man sieht, ist die Uebereinstimmung vorzüglich zu nennen, denn die nun noch bleibenden Differenzen liegen vollkommen innerhalb der Ablesefehler auch beim sorgfältigsten Arbeiten. Es liegt hierin der Beweis, dass das Prinzip der Normalfärbungen sowohl bei der Titration der

ersten als auch derjenigen der zweiten Säurestufe der Kohlensäure richtig ist. Es war schon oben darauf hingewiesen worden, dass man in der Praxis allerdings mit dem ersten erkennbaren Umschlage auskommt. Für die prinzipielle Behandlung der Frage ist es aber sicherlich von Wichtigkeit, dass der Grund auch kleiner Abweichungen klar erkannt wird, denn nur dann wird man sich Rechenschaft darüber geben können, in welchen Fällen man gewisse Vernachlässigungen eintreten lassen kann, und wie gross die möglichen Fehler dann werden. Auch das ist aber ein wichtiges Ziel quantitativer Indikatorenstudien.

Kehren wir noch einmal ganz kurz zur Figur 3 zurück. Nach Anbringung der Korrektur für unsere H-Werte reduziert sich das Titrationsintervall zwischen dem Durchschnittspunkt der Kurve mit dem Phenolphtaleinniveau und der Aequivalenzlinie auf nur 0,04 bis 0,05 ccm, sodass man tatsächlich keinen grossen Fehler begeht, wenn man, wie in der Praxis üblich, auf die erste erkennbare Verfärbung titriert. Umsomehr bleibt das in Geltung, was oben (S. 32 und 33) über die acidimetrische Stufe des Bicarbonats nach Sörensen und Auerbach und Pick gesagt wurde. Der bestehende Widerspruch bedarf noch der Aufklärung.

Es bleibt nun noch eine Erörterung der eigentümlichen Umwandlungserscheinungen am Bariumcarbonat übrig. Das Wesentliche des Vorganges besteht in einem Rückgange des Farbtons des Phenolphtaleins, wenn gesättigte Lösungen ohne oder mit Bariumsalzüberschuss längere Zeit stehen bleiben. Auch Lösungen von reinstem käuflichem Bariumcarbonat in reinem Wasser, die wegen ausgesprochen alkalischer Reaktion (etwa $8{,}5 \cdot 10^{-5}$ *n* $OH'$) Phenolphtalein intensiv rot färben, blassen innerhalb einiger Tage ganz beträchtlich ab, desgleichen von vornherein viel blassere bariumsalzhaltige Lösungen, die solches Bariumcarbonat als Bodenkörper enthalten. Dass die mit frisch gefälltem Bariumcarbonat im Gleichgewichte stehenden Lösungen in besonders auffälligem Masse dieses

Phänomen zeigen, ist oben schon mitgeteilt worden. Zur Erklärung dieser Erscheinungen könnte man versucht sein, zunächst an eine Folge der bekannten Umwandlung des Phenolphtaleins in alkalischer Lösung zu denken, bei der die roten chinoiden Salze in farblose Salze der Carbinolcarbonsäurereihe übergehen. Und in der Tat scheint diese langsam verlaufende Umwandlung in Leukoverbindungen bei dem Abblassen der am stärksten alkalischen der hier in Frage kommenden Lösungen, der rein wässerigen des Bariumcarbonats, eine Rolle zu spielen; denn es tritt eine erneute Farbverstärkung auf, wenn man eine solche Lösung nach dem Abblassen mit neuem Phenolphtalein versetzt. Bei den von vornherein viel blasseren Lösungen mit überschüssigem Bariumsalz kann es sich aber nicht um diesen Prozess handeln, weil hier diese Wirkung frischen Phenolphtaleins nicht zu beobachten ist. Man könnte weiterhin an die Beimischung eines basischen Salzes oder des Hydroxyds zum Niederschlage denken, das zunächst eine höhere *OH'*-Konzentration in der Lösung bewirkt, um sich dann allmählich mit der Mutterlauge umzusetzen. Eine gewisse Stütze dieser Auffassung könnte man in dem Umstande erblicken, dass gerade dasjenige Erdalkalicarbonat, dem das am schwersten lösliche der drei stark basischen Hydroxyde entspricht, nämlich das Calciumcarbonat, diese Erscheinung am allerauffallendsten zeigt. Aber auch diese Erklärung ist nicht haltbar. Es müsste ja dann die Mutterlauge irgend eine freie Säure im Ueberschuss enthalten, die nicht sofort mit dem *OH'* bezw. dem Phenolphtaleinsalz reagiert. Das ist aber ausgeschlossen; denn abgesehen von den starken Säuren kommt hier nur Kohlensäure in Frage, die ja allerdings ein langsames Neutralisationsphänomen zeigt, wovon weiter unten noch die Rede sein wird, aber doch immer noch so rasch reagiert, dass eine derartig verlangsamte Reaktion unverständlich bleiben müsste. Es bleibt somit keine andere Erklärungsmöglichkeit, als eine Zustandsänderung des Boden-

körpers in dem Sinne, dass seine Löslichkeit allmählich abnimmt. Diese Deutung der Erscheinung steht in Uebereinstimmung mit der in zahlreichen Fällen, und gerade auch bei Erdalkalicarbonat, gemachten Erfahrung, dass frisch gefällte Niederschläge „altern", d. h. grobkörniger und schwerlöslicher werden. Anderseits führt eine weitgetriebene Kornverkleinerung (anhaltendes Zerreiben) bei Pulvern zu einer messbaren Erhöhung der Löslichkeit. Wir hätten hier also einen Fall von Alterung, in dem sich die fortschreitende Löslichkeitsverringerung in besonders anschaulicher Weise durch die Abnahme der Konzentration des Hydroxylions verrät, das mit dem Carbonation im Hydrolysengleichgewichte steht. Hand in Hand mit der Abnahme der *OH'*-Konzentration muss ja das Abblassen der Farbe gehen. Ja, es erscheint sogar möglich, auf kolorimetrischem Wege in derartigen Fällen (es kommen hier schwerlösliche Salze von schwachen Säuren mit starken Basen oder auch schwerlösliche Hydroxyde sowie gewisse Oxyde in Frage) den Prozess des Alterns quantitativ zu verfolgen, was durch die sonst übliche Methode der Leitfähigkeitsmessung häufig nicht möglich ist.

Aus alledem ist ersichtlich, dass bei der Titration der zweiten Stufe der Kohlensäure auf gleiches Alter des zur Erzeugung der Normalfarbe dienenden Bariumcarbonats und des bei der Titration entstehenden Niederschlages zu achten ist. Wir haben ja oben schon gesehen, welche Erfolge dieses Prinzip gehabt hat. Die Alterung des Bariumcarbonats schreitet ziemlich rasch fort, ist schon innerhalb einer Stunde wahrnehmbar und geht in ein bis zwei Tagen zu Ende.

Weiterhin wurde dann noch das Verhalten des Calciumcarbonats unter analogen Verhältnissen untersucht. Dieser Stoff besitzt ja ebenfalls eine praktisch-massanalytische Bedeutung, da auch Kalkwasser zur Absorption von Kohlendioxyd benutzt wird; ferner spielt seine Löslichkeit bei der

Titration der Kohlensäure in Wässern eine wichtige Rolle. Es wurde erwartet, dass Calciumchlorid als Fällungsmittel bei der Titration der zweiten Stufe der Kohlensäure ganz die gleichen Dienste leisten würde, wie Bariumchlorid. Die Löslichkeit des Carbonats beträgt nämlich (für Calcit gültig) 13 mg im Liter Wasser von Zimmertemperatur, ist also, in Normalitäten ausgedrückt, gerade so gross, wie die des Bariumcarbonats ($1{,}3 \cdot 10^{-4}$ $m$—$n$). Da man auch die Stärke des Hydroxyds in beiden Fällen mit genügender Genauigkeit gleich setzen kann, desgleichen die Ionisationsverhältnisse der Salze, so sollten eigentlich alle Erscheinungen in beiden Fällen die gleichen sein. Das ist nun aber ganz und gar nicht der Fall. Vielmehr geben Calciumcarbonatfällungen unter identischen Bedingungen sehr viel stärkere Rotfärbungen mit Phenolphtalein als Bariumcarbonatniederschläge. Es besitzt also das zunächst ausfallende Calciumcarbonat eine noch viel grössere Löslichkeit, als frisch gefälltes Bariumcarbonat. Der Abfall der Löslichkeit, der Alterungsprozess, vollzieht sich beim Calciumcarbonat auch wesentlich langsamer; es dauert mehrere Tage, bis der Endzustand erreicht ist. Charakteristisch für dieses Salz ist ferner die Möglichkeit starker Uebersättigungen. So kann man bei vorsichtigem Vermischen ganz leicht eine für Natriumcarbonat 0,002, für Calciumchlorid 0,007 $m$—$n$ Lösung herstellen, die sich mit Phenolphtalein tiefrot färbt und stundenlang völlig klar bleibt, obwohl das Löslichkeitsprodukt um etwa das 3000fache überschritten ist. Allmählich trübt sie sich dann und entfärbt sich in dem Masse. wie die Ausscheidung des Calciumcarbonats fortschreitet. Dieses besteht, wie die mikroskopische Betrachtung ergibt, hierbei aus schön ausgebildeten Rhomboedern. Bei oberflächlicher Betrachtung könnten derartige Uebersättigungserscheinungen überhaupt als Ursache des beobachteten Phänomens der allmählichen Entfärbung unserer Lösungen angesehen werden. Dass das nicht möglich ist, ergibt die Beobachtung, dass

die Rotfärbung ja nicht beim Auftreten des Niederschlages sofort verschwindet, sondern ganz allmählich zurückgeht, auch wenn Mutterlauge und Bodenkörper durch anhaltendes Schütteln in inniger Berührung gehalten werden. Es muss also in jedem Augenblick ein Lösungsgleichgewicht bestehen, dessen Lage aber eine Funktion der Korngrösse ist und darum mit dieser eine allmähliche Aenderung erleidet. Man kann sich auch leicht davon überzeugen, dass in Gegenwart eines Bodenkörpers bestimmter Löslichkeit sich der zugehörige Gleichgewichtszustand recht schnell einstellt. Denn wenn man zu einer Lösung mit jungem Bodenkörper etwas gealterten Niederschlag hinzufügt und schüttelt, dann blasst die Farbe rasch bis zum Farbtone des Gleichgewichts mit Bodenkörper jenes höheren Alters ab.

Strontiumcarbonat, das sich von den beiden andern Erdalkalicarbonaten durch seine abweichende Löslichkeit unterscheidet (etwa 10 mg im Liter = etwa $7 \cdot 10^{-5}$ *m*—*n*) fällt auch hinsichtlich der Alterungserscheinungen aus der Reihe heraus. Das den Fortschritt der Alterung anzeigende Abblassen der Lösungen über frisch gefällten Niederschlägen vollzieht sich überraschend schnell, in weniger als einer Minute von Tiefrot bis nahezu Farblos, sodass man gerade Strontiumsalze als ideales Fällungsmittel bei der Titration der Kohlensäure betrachten muss.

Versuche in dieser Richtung sind im Gange. Ferner erstreckt sich die Untersuchung auch auf andere schwerlösliche Niederschläge. Es konnte bereits festgestellt werden, dass das tertiäre Calciumphosphat ganz ähnliche Erscheinungen zeigt, auf denen vielleicht die z. T. unbefriedigenden Erfahrungen beruhen, die bei der Titration der Phosphorsäure mit Calciumsalzen als Fällungsmittel bisher gemacht worden sind. Es soll die Untersuchung unter Verwendung der Erfahrungen mit der Alterung derartiger Niederschläge auch auf weitere Fälle ausgedehnt werden, in denen eine Titration schwacher Säuren oder Basen ausführbar erscheint,

sobald ein geeignetes Fällungsmittel gefunden ist. Theoretisch besteht jedenfalls die Möglichkeit, ganz flach verlaufende, eine direkte Titration in gewöhnlicher Weise völlig ausschliessende Titrationskurven entsprechend dem Verfahren bei der Titration der zweiten Stufe der Kohlensäure mit Hilfe schwerlöslicher Niederschläge in Kurven vom Typus der starken Säuren oder Basen umzuwandeln. Dieses Prinzip verspricht die befriedigende Lösung zahlreicher massanalytischer Aufgaben.

Gelegentlich der Versuche über die Titrierbarkeit der ersten Stufe der Kohlensäure wurde eine sehr auffallende Eigentümlichkeit der Kohlensäure gefunden und studiert, die sonst noch an keiner anderen Säure beobachtet werden konnte: die langsame Neutralisation. Als diese Untersuchung im wesentlichen abgeschlossen war, berichtete über den gleichen Gegenstand Mac Bain[1]). Weiterhin zeigte sich dann, dass die beobachtete Erscheinung in der Praxis schon länger bekannt ist und auch berücksichtigt wird, ohne dass jedoch das daran Auffallende genügend gewürdigt worden wäre.

Versetzt man wässerige Lösungen von Kohlensäure mit Phenolphtalein und dann mit einer zur Absättigung der ersten Stufe nicht ausreichenden Menge von Lauge, so färbt sich die Flüssigkeit anfangs tiefrot, blasst aber ziemlich rasch ab und wird schliesslich farblos. Das gleiche Spiel wiederholt sich mit jeder neuen Portion Lauge, solange noch nicht praktisch quantitative Bicarbonatbildung eingetreten ist. Da die gleiche Erscheinung mit den verschiedenartigsten Indikatoren beobachtet werden kann, sofern deren Umschlagsniveau nur günstig liegt, kann es sich nicht um eine individuelle Trägheit der Indikatorreaktion handeln. Das wird übrigens auch durch die weitere Feststellung aus-

1) Journ. Chem. Soc. London **101**, 814 (1912). Chem. Centralbl. **1912**, II, 450.

geschlossen, dass nur Kohlensäure diese Erscheinung zeigt, während andere schwache Säuren, wie Phenol oder Borsäure, momentan reagieren. Es liegt hier demnach eine besondere Eigentümlichkeit gerade der Kohlensäure vor. Man kann das Phänomen sehr schön demonstrieren, wenn man zu einer geeigneten Menge von Lauge eine angemessene Menge mit einem hierzu brauchbaren Indikator gefärbter Lösung von Kohlensäure rasch zugiesst. Dann schlägt der Indikator sofort in die „alkalische" Farbe um, um nach einer bestimmten Zeit wieder die der sauren Reaktion entsprechende Farbe mehr oder weniger plötzlich anzunehmen.

Geeignete Mischungen sind z. B. je 50 ccm gesättigte Kohlensäurelösung, mit 100 ccm Wasser verdünnt und

| gefärbt mit: | Phenolphtalein | Rosolsäure | Azolithmin | Cochenille |
|---|---|---|---|---|
| zugegossen zu: | 2 ccm | 2 ccm | 1 ccm | 1 ccm |

etwa 0,5 *n* Natronlauge.

Die Trägheit der Reaktion der Kohlensäure mit Lauge ist offenbar der Grund für die bei der Titration von Säuren mit Lauge und Phenolphtalein in nicht besonders kohlensäurefrei gemachten Lösungen regelmässig zu beobachtende Tatsache, dass die Umschlagsfärbung nach einiger Zeit wieder verschwindet. Bisher schob man diese Erscheinung auf die Einwirkung der Kohlensäure der Luft, die von der Oberfläche her das überschüssige Alkali verbrauchen sollte. Dass diese Erklärung falsch ist, ergibt sich einmal aus dem gleichzeitigen Verschwinden der Farbe durch die ganze Masse der Flüssigkeit, sodann aber auch daraus, dass nach Verbrauch einer gewissen weiteren Menge von Lauge die Farbe beständig wird. Die Kohlensäure der Luft ist freilich daran schuld, aber nicht die nach beendigter Titration sich in der Flüssigkeit auflösende, sondern die von vornherein in den angewandten Flüssigkeiten gelöst gewesene.

Das genannte Zeitphänomen ist in ausgesprochener Weise von der Temperatur abhängig und wird durch Ab-

kühlen weiter verlangsamt. So erforderte die völlige Entfärbuug einer Mischung von 50 ccm gesättigter Kohlensäurelösung mit 200 ccm Wasser, 1 ccm 1 %iger Phenolphtaleinlösung und 20 Tropfen etwa halbnormaler Lauge bei 21° nur 5 Sekunden, bei 4° dagegen 15 Sekunden. Beschleunigend wirkt ein Gehalt der Flüssigkeit an Neutralsalz, wie z. B. Kochsalz. Es besteht also anscheinend ein Zusammenhang mit jener „Neutralsalzwirkung", die sich in der Erhöhung der Stärke der Kohlensäure zeigt.

Dass gerade Kohlensäure ein derartiges Zeitphänomeu aufweist, ist vielleicht darin begründet, dass bei der Neutralisation der Kohlensäure der als $CO_2$ gelöste Anteil sich erst hydratisieren muss, bevor er sich ionisieren kann, und dass die Reaktion

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

mit messbarer Geschwindigkeit verläuft. Die Vermutung, dass auch bei der schwefligen Säure, bei der ein analoges Gleichgewicht des Anhydrids mit Wasser und der ungespaltenen Säure besteht, ein derartiges Zeitphänomen auftreten könne, hat sich nicht bestätigt. Doch kann immerhin in diesem Falle das Gleichgewicht an sich schon sehr zu Gunsten des hydratisierten $SO_2$ liegen, sodass die Hydratation bei der Neutralisation eine untergeordnete Rolle spielt. Anderseits können recht gut bei äusserlich ganz ähnlichen Vorgängen sehr grosse Verschiedenheiten der individuellen Geschwindigkeitskonstanten vorhanden sein. Es lässt sich also das Fehlen einer Zeitreaktion bei der schwefligen Säure nicht als Argument gegen die Annahme verwenden, dass die Langsamkeit der Neutralisation der Kohlensäure auf der Langsamkeit der Hydratation des Kohlendioxyds beruhe.

Die in vorstehenden Beispielen zu quantitativen Ueberlegungen benutzten Ergebnisse der Messung von Indikatorenempfindlichkeiten gestatten nunmehr die Lösung einer ganzen Reihe weiterer massanalytischer Probleme in Angriff zu nehmen, die eine auch vom praktischen Standpunkte aus

sehr willkommene Ausdehnung des Bereiches massanalytischer Bestimmungen darstellen.

Die hier in Betracht kommenden Fragen, deren Beantwortung teils jetzt schon möglich ist, teils bei weiterem systematischem Ausbau der quantitativen Indikatorenforschung in Aussicht steht, sind etwa die folgenden.

1. Ist die Titration einer gegebenen Säure oder Base möglich, mit welchen Indikatoren und mit welcher Genauigkeit? Welches sind die zweckmässigsten Versuchsbedingungen, welches der geeignetste Indikator?

Die Antwort auf diese Frage ist bei den oben besprochenen Beispielen bereits in einigen Fällen gegeben worden. Ihre allgemeine Beantwortung setzt die Kenntnis der Affinitätskonstante des betreffenden Stoffes sowie die Kenntnis der Indikatorenempfindlichkeit und der absoluten Qualität des Indikatorenumschlags voraus.

2. Welche Aussichten bestehen für die massanalytische Trennung zweier (eventuell mehrerer) Säuren bzw. Basen verschiedener Stärke?

Hier ergeben sich mehrere Unterfragen, nämlich:

a) Gegeben sind bestimmte Substanzen bekannter Stärke. Lassen sie sich trennen und mit welcher Genauigkeit? In welcher Beziehung steht letztere zur Wahl des Indikators? Welches sind überhaupt die günstigsten Bedingungen der Trennung?

b) Verlangt wird eine bestimmte Genauigkeit der Trennung.

Welches müssen die Stärkeverhältnisse (absolut und relativ), der zu trennenden Substanzen sein, und in welcher Beziehung stehen sie zur Wahl des Indikators?

c) Ein bestimmter Indikator soll benutzt werden.

In welcher Beziehung stehen die Stärkeverhältnisse der zu trennenden Substanzen zu der erreichbaren Genauigkeit der Trennung?

Für die Praxis ist zweifellos der Fall 2a der wichtigste, während die anderen Fragen mehr theoretisches Interesse besitzen. Es soll nun an einem speziellen Beispiele gezeigt werden, in welcher Weise derartige Fragen in Angriff genommen werden können, und wie die Resultate rechnerischer Behandlung zu den Ergebnissen des Versuches passen.

Aus besonderem Anlass hatte sich die Frage nach der Titrierbarkeit von Ameisensäure neben Phenol ergeben, und zwar war es wünschenswert, eine Methode zu finden, die gestattete, die Ameisensäure mit möglichst grosser Genauigkeit zu titrieren, ohne dass das Phenol dabei störte.

Die Benutzung der gebräuchlichsten Indikatoren, Methylorange und Phenolphtalein, musste von vornherein ausgeschlossen erscheinen. Die Ameisensäure ist ja eine schwache Säure, nur etwa zehnmal so stark wie Essigsäure, sodass ihre Titrationskurve nicht sehr viel anders aussehen kann, als die der Essigsäure (vgl. Fig. 1). Die Anwendung des Methylorange verbietet sich mithin aus denselben Gründen, wie bei dieser. Phenolphtalein würde sich allerdings bei geringen Mengen von Phenol neben grossen Mengen von Ameisensäure anwenden lassen, ohne dass wesentliche Fehler entständen, nicht aber, wenn nur kleine Mengen von Ameisensäure neben mässigen Mengen oder gar neben grösserem Ueberschusse von Phenol zu bestimmen sind.

Zur Auffindung eines geeigneten Indikators kann man nun verschieden verfahren. Wir berechnen zunächst, welche $H^{\cdot}$-Konzentration vorhanden ist, wenn die zur Bindung nur der Ameisensäure erforderliche Menge Lauge zugesetzt wird, also diejenige Menge, die bei Abwesenheit des Phenols zur Titration gebraucht werden würde. Diese Rechnung ist freilich nur in einem Sonderfalle einfach, nämlich dann, wenn aequivalente Mengen der beiden Säuren vorhanden waren. Dann ergibt sich der gewünschte Wert aus dem Verteilungsverhältnis der Base zwischen den beiden Säuren und den

Spaltungsgleichgewichten der Säuren. Wir führen die Rechnung für diesen Fall durch.

Wenn je ein Aequivalent der beiden Säuren mit einem Aequivalent Base versetzt werden, verteilt sich letztere auf die beiden Konkurrenten im Verhältnis $\sqrt{K_1} : \sqrt{K_2}$, wenn $K_1$ und $K_2$ die Affinitätskonstanten der beiden Säuren sind; dies gilt unter der Voraussetzung, dass die Säuren schwach sind, und ihre Neutralsalze als völlig gespalten angesehen werden dürfen. Da nun in unserem Falle $K_1$ (Ameisensäure) $= 2{,}14 \cdot 10^{-4}$ und $K_2$ (Phenol) $= 1{,}3 \cdot 10^{-10}$ ist, so verhält sich die Menge des gebildeten Formiats zu der des Phenolats wie 1260 zu 1. Es bleibt also nur $^1/_{1260}$ oder 0,08 % der Ameisensäure frei, während der gleiche Prozentsatz des Phenols zu Phenolat umgewandelt wird. Daraus berechnet sich unter Berücksichtigung der Spaltungsgleichung jeder der beiden Säuren übereinstimmend für ein derartiges Gemisch eine $H^{\cdot}$-Konzentration von $1{,}7 \cdot 10^{-7}$ $n$, unabhängig von der Verdünnung. Wenn man also einen Indikator wählt, der in diesem Niveau umschlägt, so wird man trotz der Gegenwart des Phenols die gleiche Menge von Lauge brauchen, wie für die Ameisensäure allein. Solche Indikatoren sind das $p$-Nitrophenol mit einem Umschlag zwischen $10^{-6}$ und $10^{-7}$ von hellgrünlich nach grüngelb und das Methylrot, das bei $10^{-6{,}4}$ aus einem rotstichigen Gelb in reines Gelb umschlägt. Nun gilt unsere Rechnung aber nur für den Fall äquivalenter Mengen der beiden Säuren. Sie lässt sich allerdings auch für beliebige Mengen durchführen, wird dann aber äusserst verwickelt. Auch würde dann für jedes Mischungsverhältnis eine andere $[H^{\cdot}]$-Stufe herauskommen, was für die Praxis unerwünschte Komplikationen bedingen würde.

Man verfährt daher zweckmässig anders, und das ist die zweite Art der Lösung unserer Aufgabe. Man verlegt den Titrationsendpunkt in ein höheres $[H^{\cdot}]$-Niveau und zwar so hoch, dass man über den $[H^{\cdot}]$-Wert kommt, der einer

Lösung reinen Phenols von angemessener Konzentration entspricht. Das ist aber, wenn man als obere Konzentrationsgrenze für das Phenol etwa 0,1 $n$ ansetzt, $10^{-5,45}\,n\,H^{\cdot}$, während der höchste überhaupt mögliche Wert, für gesättigte, rund $^3/_4\,n$ Lösung, $10^{-5}\,n\,H^{\cdot}$ wäre. Damit kommt man aber auch an Stellen der Titrationskurve, die schon so schwach geneigt sind (einen Anhalt gibt wieder die sehr ähnliche Essigsäurekurve), dass auf einen scharfen Umschlag auch mit solchen Indikatoren nicht zu rechnen ist, die in diesem höheren $[H^{\cdot}]$-Niveau ihr eigentliches Umschlagsgebiet haben. Es wäre daher prinzipiell falsch, sich auf einen bestimmten augenfälligen Umschlag verlassen zu wollen. Vielmehr ist das Gegebene hier die Anwendung einer Normalfärbung. Zu solcher benutzen wir ebenfalls einen der beiden obengenannten Indikatoren $p$-Nitrophenol und Methylrot. Schon eine rein wässerige Lösung davon erfüllt praktisch den Zweck als Normalfarblösung, wenn man die Indikatorkonzentration darin ebenso gross macht, wie in der Versuchslösung, und das gleiche Volum davon nimmt. Das mag auffallend erscheinen, ist jedoch leicht erklärlich, da beide Indikatoren nicht allzuschwache Säuren sind und daher selbst schon eine Erhöhung der $H^{\cdot}$-Konzentration gegenüber dem reinen Wasser bewirken. Das $p$-Nitrophenol gibt z. B. bei einer Konstante von $7 \cdot 10^{-8}$, in einer Menge von 3 Tropfen der üblichen Lösung (= 0,0035 g Indikator) auf 200 ccm Wasser eine $H^{\cdot}$-Konzentration von $10^{-5,53}\,n$, ist nur ganz schwach grünlich gefärbt und wird durch Zusatz von Phenol bis zur Konzentration von etwa 0,1 $n$ nicht merklich in seiner Färbung beeinflusst. Eine solche Lösung muss also als Normalfarblösung geeignet sein, was ja auch die Ergebnisse der weiter unten mitgeteilten Versuche bestätigen. Ebenso verhält es sich mit dem Methylrot. 15 Tropfen einer etwa 0,1 %igen, schwach alkoholhaltigen wässerigen Lösung färben 200 ccm Wasser rötlichgelb, und diese Lösung zeigt mit der gleichen Phenolkonzentration, die beim $p$-Nitrophenol an-

gewandt wurde, ebenfalls keine merkliche Verfärbung. Auch diese Lösung wurde als Normale verwandt. Die Titration auf einen solchen Normalton lässt sich mit grosser Genauigkeit durchführen, gibt aber natürlich andere Werte, als der völligen Neutralisation der Ameisensäure entsprechen würde. Es ist ja auch leicht einzusehen, dass umsomehr Säure noch unverbraucht sein muss, in einem je höheren Niveau der Titrationsendpunkt liegt. Ist die Entfernung von der Aequivalenzlinie nicht zu gross, sodass die unvermeidlichen Versuchsfehler durch die Umrechnung nicht zu sehr vergrössert werden, so schadet diese unvollständige Neutralisation nichts, geradesowenig, wie z. B. die Einstellung einer starken Säure mit Methylorange an sich zu verwerfen ist, weil sie etwas abweichende Werte ergibt gegenüber der mit Phenolphtalein. Man muss nur in beiden Fällen die Differenz kennen und stets in Rechnung setzen. Etwas Anderes wäre es, wenn jener Minderverbrauch an Lauge sich mit der Konzentration der zu titrierenden Säure änderte. Das ist indes nicht der Fall, wie die Versuche beweisen und sich auch theoretisch ableiten lässt. Nach der Spaltungsgleichung irdend einer schwächeren Säure muss nämlich der Bruch

$$\frac{\text{Anionkonzentration}}{\text{Konz. der ungesp. Säure}}$$

gleich dem Quotienten $\frac{H^{\bullet}\text{-Konz}}{K}$

sein, wenn $K$ die Affinitätskonstante ist. Daraus geht bei konstantem $[H^{\bullet}]$, solange das Anion praktisch nur vom Neutralsalz geliefert wird, die Unveränderlichkeit des Bruchteils, bis zu dem die Säure neutralisiert ist, hervor. Das bedeutet aber Konstanz der massanalytischen Einstellung bei allen Verdünnungen, wenn die Titration stets in dem gleichen Niveau abgebrochen wird. Man braucht dann nur noch die Einstellung unter diesen Bedingungen mit der gewöhnlichen (Phenolphtalein als Indikator) zu vergleichen und hat dann sofort den für jede Verdünnung gültigen Umrechnungsfaktor.

Die Tabelle 4 enthält eine Anzahl von Versuchsergebnissen, welche die Unveränderlichkeit des Titrationsresultats

Tabelle 4.

| Versuch Nr. | Volum ccm | Millimole Ameisensäure | Millimole Phenol | Indikator, Art und Menge | ccm ca. 0,5 *n* Natronlauge gef. | ber. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 200 | 10 | — | Phenolphtalein 1 ccm | 23,70 | |
| 2 | 200 | 10 | — | Phenolphtalein 3 Tropf. | 23,72 | |
| 3 | 200 | 10 | 15 | Phenolphtalein 1 ccm | 24,05 | |
| 4 | 200 | 10 | — | *p*-Nitrophenol 3 Tropfen | 23,60 | |
| 5 | 200 | 10 | 15 | *p*-Nitrophenol 3 Tropfen | 23,58 | |
| 6 | 200 | 10 | — | Methylrot 15 Tropfen | 23,59 | |
| | „ | „ | 15 | „ „ „ | 23,60 | |
| 7 | 200 | 10 | 15 | Methylrot 15 Tropfen | 23,63 | |
| | „ | „ | „ | „ „ „ | 23,62 | |
| 8 | 200 | 10 | 15 | *p*-Nitrophenol 3 Tropfen | Mittel: 22,59 / 22,61 | |
| 9 | 200 | 10 | 7,5 | „ 3 „ | 22,60 — 22,59 / 22,60 | |
| 10 | 200 | 5 | 15 | „ 3 „ | 11,31 / 11,31 | 11,30 |
| 11 | 200 | 2 | 15 | „ 3 „ | 4,50 / 4,51 | 4,52 |
| 12 | 165 | 5 | — | Methylrot 15 Tropfen | Mittel 11,94 — 11,95 / 11,93 | |
| 13 | 200 | 10 | 7,5 | „ 15 „ | 23,85 / 23,85 | 23,88 |
| 14 | 190 | 10 | 3,8 | „ 15 „ | 23,89 / 23,88 | 23,88 |
| 15 | 190 | 5 | 7,5 | „ 15 „ | 11,90 / 11,90 | 11,94 |
| 16 | 190 | 6 | 7,5 | „ 15 „ | 14,26 / 14,28 | 14,33 |
| 17 | 190 | 4 | 7,5 | „ 15 „ | 9,51 | 9,55 |
| 18 | 165 | 1 | 7,5 | „ 15 „ | 2,38 / 2,37 | 2,39 |
| 19 | 175 | 1 | 15 | „ 15 „ | 2,40 | 2,39 |
| 20 | 90 | 8 | 7,5 | Methylrot 5 Tropfen | 18,99 / 19,00 | 19,10 |
| 21 | 75 | 4 | 7,5 | „ 5 „ | 9,50 | 9,55 |
| 22 | 75 | 1 | 15 | „ 5 „ | 2,40 | 2,39 |

bei wechselnder Verdünnung und seine Unabhängigkeit von der Gegenwart von Phenol der angewandten Konzentration erkennen lässt.

Die in der zweiten Spalte angegebenen Volumina beziehen sich auf das Ende der Titration. Alle Flüssigkeiten waren kohlensäurefrei. Die Natronlauge war nach dem Küster'schen Verfahren aus Natrium dargestellt und durch Versetzen mit kleinen Mengen von Bariumchlorid, das weiterhin wieder mit etwas Natriumsulfat gefällt wurde, noch besonders von Carbonat befreit worden. Das Phenolphtalein wurde in 1 %iger alkoholischer Lösung, das *p*-Nitrophenol in einer Konzentration von 3,5 g auf 100 ccm Alkohol angewandt, das Methylrot als etwa 0,1 %ige alkoholhaltige wässerige Lösung. Die erste Abteilung der Tabelle zeigt, wie die Einstellung der Ameisensäure mit verschiedenen Indikatoren ausfällt. Beim *p*-Nitrophenol und beim Methylrot wurde dabei auf die Farbe der rein wässerigen Lösung des Indikators als Farbnorm eingestellt, beim Phenolphtalein auf den ersten sichtbaren Umschlag. Ferner ersieht man aus dieser Abteilung den Einfluss der Gegenwart von Phenol auf das Ergebnis der Einstellung. Wie erwartet, wird die Titration mit Phenolphtalein gestört, während bei Anwendung der beiden anderen Indikatoren kein merklicher Einfluss vorhanden ist. Die zweite und dritte Abteilung enthalten Versuche, aus denen die Konstanz der Einstellung für verschiedene Mengen von Ameisensäure auch bei Anwesenheit wechselnder Mengen von Phenol hervorgeht. Die Uebereinstimmung zwischen den gefundenen und den aus einer Grundtitration unter Berücksichtigung der jedesmal angewandten Menge Ameisensäure berechneten Werten ist fast überall sehr gut. Nur der Versuch 20 zeigt eine etwas grössere Abweichung, der vielleicht ein zufälliger Fehler zu Grunde liegt; denn gerade hier ist kein besonderer Grund für eine prinzipielle Abweichung vorhanden. Die meisten Werte sind sogar etwas kleiner, als berechnet, während eine

störende Wirkung des Phenols eine Vergrösserung bewirken müsste.

Man darf also behaupten, dass die Aufgabe der Titration der Ameisensäure in beliebiger Konzentration neben mässigen Mengen von Phenol (fast 0,1 *n* Lösung davon) gelöst ist, und dass sich die Methode der „quantitativen Indikatorenauslese" in diesem Falle bewährt hat.

Eine ähnliche Aufgabe wäre die praktisch wichtige Titration starker Mineralsäuren in Essigsäure. Es wäre da die Frage zu beantworten, welche Mengen der verunreinigenden Substanz noch nachweisbar sind, und welcher Indikator die günstigsten Ergebnisse verspricht. Auch diese Aufgabe erscheint lösbar. Doch ist vorläufig noch zu wenig über die absolute Qualität der in diesem $H^{\cdot}$-Konzentrationsgebiete in Frage kommenden Indikatorenumschläge bekannt. Es müssen erst Versuche zur Festlegung engerer Säurezwischenstufen angestellt werden, ehe über die voraussichtliche Genauigkeit einer derartigen Titration sich etwas Sicheres aussagen lässt. Das Stärkeverhältnis der hier zu trennenden Substanzen ist nicht ungünstiger, als das im Falle Ameisensäure—Phenol vorliegende.

Aehnliches gilt für die Behandlung der weiteren oben skizzierten Aufgaben. Es ist notwendig, dass durch die für einzelne $H^{\cdot}$-Konzentrationsgebiete, namentlich von Sörensen, durchgeführte Zerlegung der Säurestufen in genügend kleine Zwischenstufen die Möglichkeit gegeben werde, die allmähliche Veränderung des Farbtons der Indikatoren als stetige Funktion der Verschiebung des $[H^{\cdot}]$-Niveaus festzulegen, und dass man jede solche Zwischenstufe in einfacher und doch präziser Weise herstellen und zur Gewinnung von Vergleichsfärbungen benutzen kann. Die nähere Betrachtung von Aufgaben der erwähnten Art zeigt nämlich, dass man in den seltensten Fällen mit einem einfachen „Umschlage" auskommen wird. Viel ausgedehnter ist der Anwendungsbereich der „Vergleichsfärbungen" (Normalfärbungen). Das Prinzip

der Einstellung auf eine gegebene, durch Rechnung zweckmässig auszusuchende Vergleichsfarbe verspricht eine grosse Zahl von massanalytischen Aufgaben ihrer Lösung zuzuführen, die der bisher in der Mehrzahl der Fälle angewandten, älteren Methode der Beobachtung eines eben erkennbaren bestimmten Umschlags unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten.

Für einen rationellen weiteren Ausbau der quantitativen Methoden der Auswahl und Verwendung von Indikatoren sind aber noch einige andere Gesichtspunkte von Wichtigkeit, deren allgemeinere Beachtung der Massanalyse nur zum Nutzen gereichen kann und geeignet ist, die Willkür und eine daraus resultierende gewisse Unsicherheit bei der Beurteilung von Farbtönen, die bis jetzt noch vorhanden ist, zu beschränken oder ganz auszuschalten. Auch von diesem Gesichtspunkte aus kann das Prinzip der Vergleichsfärbungen nur Gutes wirken.

Es sind vor allen Dingen Festsetzungen erforderlich über die in jedem Falle zu wählende Indikatorkonzentration und die bei der Beurteilung der Farbe zu durchblickende Schicht sowie über die Art der Beleuchtung und des Hintergrundes. Dazu kommt dann noch die Festlegung der Temperatur, von deren Einfluss oben schon die Rede war, und die Berücksichtigung von Fremdstoff-, insbesondere Neutralsalzwirkungen.

Die Indikatorkonzentration, um nur diesen Punkt hervorzuheben, besitzt nicht in allen Fällen die gleiche, stets aber erhebliche Bedeutung. Einfarbige und mehrfarbige Indikatoren werden sich in dieser Hinsicht verschieden verhalten. Halten wir daran fest, dass die Lage des Chromotropiegleichgewichts durch die $[H^{\cdot}]$-Stufe gegeben ist, so wird, falls der Indikator letztere nicht selbst beeinflusst, die Konzentration der heterochromen Indikatorsubstanz mit der Gesamtkonzentration des Indikators steigen müssen. Damit steigt aber beim einfarbigen Indikator auch die Sichtbarkeit der betreffenden

Färbung, sodass eine als „Umschlag“ zu deutende Färbung, die bei einer gewissen Indikatorkonzentration noch nicht zu sehen ist, sichtbar werden kann, wenn die Farbstärke durch Vermehrung der Indikatorkonzentration erhöht wird. Daher kann die Veränderung der Indikatorkonzentration einen bestimmten Umschlag in ganz verschiedenen $[H^{\cdot}]$-Niveaus erscheinen lassen. Das ist experimentell sehr einfach nachzuweisen. Wenn man z. B. je 10 ccm einer 0,1 $n$ Lösung von käuflichem Natriumbicarbonat mit 100 ccm kohlensäurefreiem Wasser verdünnt, und der Reihe nach mit 2, 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ ccm einer 1 %igen alkoholischen Phenolphtaleinlösung versetzt, so erkennt man deutlich die Abstufung der Farbintensität, die in der letzten Lösung am geringsten ist. Nimmt man die Farbe der letzten Lösung als „Umschlagsfärbung“, so kann man diesen Umschlag durch die Anwendung der 16 fachen Indikatorkonzentration um fast eine halbe Säurestufe nach oben verschieben; denn wenn man zur Lösung mit 2 ccm Phenolphtalein 1,5 ccm gesättigter Kohlensäurelösung setzt, was einer Erhöhung der Stufe etwa um den genannten Betrag entspricht, so erhält man den viel blasseren, hier als Umschlagsfärbung genommenen Farbton der letzten Lösung.

Bei zweifarbigen Indikatoren herrschen andere Verhältnisse. Hier wird unter den gleichen Voraussetzungen durch Aenderung der Indikatorkonzentration das Konzentrationsverhältnis der beiden Farbkomponenten und damit die Farbnuance nicht geändert werden. Trotzdem lehrt die Erfahrung, dass derartige Färbungen je nach der Konzentration verschieden aussehen können, was vermutlich physiologische Gründe hat und zwar mit der verschiedenen Empfindlichkeit des Auges gegenüber verschiedenen Spektralbereichen zusammenhängt. So ist es bekannt, dass in manchen Fällen die Schärfe des Umschlages nur bei geringer Indikatorkonzentration gross ist, während bei höherer unscharfe Uebergänge entstehen (Methylorange).

Was die Bedeutung der Dicke der zu durchblickenden Flüssigkeitsschicht betrifft, so ist hier die Beziehung zur scheinbaren Farbstärke wohl ohne weiteres einleuchtend.

Die quantitative Indikatorenforschung steht noch im Anfange ihrer Entwickelung. Es ist zu hoffen, dass ihr weiterer Ausbau in der angedeuteten Richtung der Massanalyse zu mannigfachen Fortschritten verhelfen wird, indem er die Wege weist zu bewusster Auswahl der günstigsten Versuchsbedingungen und der geeignetsten Indikatoren.

Sodann sprach Herr F. Richarz über:

## Neuberechnungen des mechanischen Wärmeäquivalentes auf Grund im hiesigen Institut ausgeführter Messungen.

Die Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes nach dem zuerst von Julius Robert Mayer angegebenen Prinzip aus der Differenz der beiden spezifischen Wärmen der Gase ergibt bei ihrer Ausführung für verschiedene Gase nach den bisherigen experimentellen Werten eine ziemliche Abweichung. Es ergibt sich für Luft 423,8 *mkg*, Sauerstoff 423,5 *mkg*, Wasserstoff 423,1 *mkg*, Stickstoff 429,1 *mkg*[1]). Ich vermutete, dass diese Abweichungen verschwinden würden, wenn die Werte der spezifischen Wärme $c_p$ und des Verhältnisses der spezifischen Wärmen $\varkappa$ neu und besser bestimmt sowie die individuellen Verschiedenheiten der Ausdehnungscoefficienten berücksichtigt würden. Aus den Messungen der Herren Everts, Küster und Stoll im hiesigen Institut ergeben sich für Luft 427,8 bezw. 428,3 *mkg*, Sauerstoff 427,0 *mkg*, Stickstoff 426,77 *mkg*, mithin eine bessere Uebereinstimmung untereinander und mit dem Werte, den kürzlich die Deutsche Physikalische Gesellschaft als massgebend aus sämtlichen vorliegenden experimentellen Bestimmungen abgeleitet hat, nämlich $427{,}2\ mkg = 4{,}189 \times 10^7\ Erg$. Herr Escher hatte die Aufgabe, die spezifische Wärme des Wasserstoffs experimentell neu zu bestimmen. Aeltere Bestimmungen lagen nur vor von

1) Helmholtz, Vorles. VI., herausgeg. v. F. Richarz, p. 196.

Regnault, E. Wiedemann und Lussana. Diese würden den obigen Wert 423,1 *mkg* für das mechanische Wärmeäquivalent ergeben, welcher Wert von dem eben erwähnten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft weit abweicht. Herr Escher hat sich bei seinen Bestimmungen einer Methode bedient, welche eine weitere Ausbildung derjenigen von E. Wiedemann darstellt. Dabei werden Mängel der Wiedemann'schen Anordnung vermieden; auch ist die Art der Berechnung der Versuche eine auf eindringenderer, kritischer Betrachtung des Temperaturverlaufes beruhende. Auf diese Art hat Herr Escher die Vorteile der Wiedemann'schen Anordnung ausgenutzt und zugleich mit ihr verbunden die Vorteile, die Regnaults Methode darbot. Der Wert, den Escher für die specifische Wärme $c_p$ des Wasserstoffes findet, ist 3,4219. Der hieraus berechnete Wert des mechanischen Wärmeäquivalentes ist 428,2 $mkg = 4{,}199 \times 10^7$ *Erg*. Dieser Wert reiht sich also demjenigen aus den Versuchen mit anderen Gasen, die hier im Institut ausgeführt worden sind, gut an, sodass es vielleicht sogar möglich ist, die noch bestehenden Abweichungen in den bezüglichen Werten des mechanischen Wärmeäquivalentes, die selbstverständlich nicht real sein können, als nur durch Unsicherheiten in der Bestimmung anzusehen; sie könnten aber auch darauf beruhen, dass die Julius Robert Mayer'sche Ableitung die Gültigkeit des Boyle-Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetzes voraussetzt, während genau genommen an deren Stelle die van der Waals'sche Zustandsgleichung zu treten hat.

Durch die Neubestimmung wird ferner eine Abweichung zum grössten Teil beseitigt, die der Wasserstoff darbot in Bezug auf den Wert seiner Molekularwärme. Diese sollte[1]) nach der für zweiatomige Gase erweiterten Theorie des Gesetzes von Dulong und Petit 4,966 betragen. Nach den bisherigen Messungen der spezifischen Wärme des Wasser-

1) F. Richarz, Ztsch. f. anorg. Chemie, Bd. 58, pag. 356 ff., 1908.

stoffs hatte sich eine grosse Abweichung ergeben, welche um so verwunderlicher war, als doch Wasserstoff dem Zustande eines idealen Gases ziemlich nahekommend angesehen zu werden pflegt. Mit Eschers Wert der spezifischen Wärme ergibt sich als Molekularwärme des Wasserstoffs 4,916, also ein mit obiger Theorie gut übereinstimmender Wert.

Es möge noch erwähnt werden, dass Wasserstoff und Helium diejenigen Gase sind, welche der experimentellen Bestimmung der spezifischen Wärme die grössten Schwierigkeiten entgegensetzen. Erstens, wegen der Notwendigkeit, die Apparatur viel sorgfältiger zu dichten, zweitens, weil infolge der leichten Beweglichkeit des Gases eine Wärmeabgabe vom Heizgefäss an das Kalorimeter durch Vermittlung des Gases selbst unbeabsichtigt stattfindet, welche Fehlerquelle bei den anderen Gasen entfällt.

Am Schluss seiner Dissertation hat Herr Escher auf meine Veranlassung bereits angekündigt, dass er die von mir oben erwähnte Berechnung ohne Voraussetzung der idealen Gasgesetze, die bereits lange im Institut beabsichtigt war, ausführen werde; ich lege im Folgenden diese Berechnung vor.

Wilhelm Escher:

## Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes aus den spezifischen Wärmen unter Zugrundelegung der van der Waals'schen Zustandsgleichung.

Zur Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes gehen wir aus von der für jeden homogenen Körper gültigen Beziehung[1]):

$$(1) \quad . \quad . \quad -J \cdot (c_p - c_v) \cdot \frac{\partial v}{\partial p} = \vartheta \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)^2$$

In dieser Gleichung ist $J$ das mechanische Wärmeäquivalent; $c_p$ die spezifische Wärme des Körpers bei konstantem

1) Helmholtz, Vorlesungen über theoretische Physik, Band VI, Theorie der Wärme, herausgeg. von F. Richarz, Leipzig 1903, pag. 227, Gleichung 54.

Druck, $c_v$ diejenige bei konstantem Volumen; $\vartheta$ die Temperatur des Körpers, absolut gemessen; $\frac{\partial v}{\partial \vartheta}$ und $\frac{\partial v}{\partial p}$ sind die partiellen Differentialquotienten von $v$ (Volumen) nach $\vartheta$ und $p$ (Druck).

Wir wenden nun diese Beziehung (1) auf ein Gas an, dessen Zustand durch die van der Waals'sche Gleichung gegeben sein soll, die wir in der Form

$$(2) \quad \ldots \quad \left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = \mathfrak{R} \cdot \vartheta$$

schreiben. Für $p = 1$ und $\vartheta = 273$ soll $v = 1$ definiert sein; $a$, $b$ und $\mathfrak{R} = \frac{(1 + a)\ (1 - b)}{273}$ haben ganz bestimmte individuelle Werte für jedes Gas. — Die Werte von $\frac{\partial v}{\partial p}$ und $\left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)^2$ der Gleichung (1) lassen sich alsdann aus (2) bestimmen:

$$p \cdot v + \frac{a}{v} - b \cdot p - \frac{a\,b}{v^2} - \mathfrak{R} \cdot \vartheta = 0$$

$$(3) \quad \ldots \quad \frac{\partial v}{\partial p} = - \frac{v - b}{p - \frac{a}{v^2} + \frac{2\,a\,b}{v^3}}$$

$$(4) \quad \ldots \quad \frac{\partial v}{\partial \vartheta} = \frac{\mathfrak{R}}{p - \frac{a}{v^2} + \frac{2\,a\,b}{v^3}}$$

Durch Einsetzen von (3) und (4) in Gleichung (1) erhalten wir:

$$+ J \cdot (c_p - c_v) \cdot \left(\frac{v - b}{p - \frac{a}{v^2} + \frac{2\,a\,b}{v^3}}\right) = \vartheta \cdot \frac{\mathfrak{R}^2}{\left(p - \frac{a}{v^2} + \frac{2\,a\,b}{v^3}\right)^2}$$

$$J \cdot (c_p - c_v) = \frac{\mathfrak{R} \cdot \vartheta}{v - b} \cdot \frac{\mathfrak{R}}{p - \frac{a}{v^2} + \frac{2\,a\,b}{v^3}}$$

Nach Gleichung (2) hat $\frac{\mathfrak{R} \cdot \vartheta}{v - b}$ den Wert $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)$,

sodass

$$J \cdot (c_p - c_v) = \left( p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot \frac{\mathfrak{R}}{p - \frac{a}{v^2} + \frac{2ab}{v^3}}$$

Da der Ausdehnungskoeffizient des betrachteten Gases (bei konstant gehaltenem Druck) durch die Beziehung

$$(5) \quad \ldots \ldots \alpha = \frac{1}{v_0} \cdot \frac{\partial v}{\partial \vartheta}$$

definiert ist, so wird

$$\frac{\partial v}{\partial \vartheta} = \alpha \cdot v_0 ;$$

mithin können wir nach (4) und (5) für

$$\frac{\mathfrak{R}}{p - \frac{a}{v^2} + \frac{2ab}{v^3}} = \frac{\partial v}{\partial \vartheta} = \alpha \cdot v_0$$

setzen. Es wird also:

$$(6) \quad \ldots J \cdot (c_p - c_v) = \left( p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot \alpha \cdot v_0$$

Führen wir nun noch den Wert für das Verhältnis der beiden spezifischen Wärmen $\varkappa = \frac{c_p}{c_v}$ in Gleichung (6) ein so ergibt sich:

$$(7) \quad \ldots J = \frac{1}{c_p} \cdot \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} \cdot \alpha \cdot v_0 \cdot \left( p + \frac{a}{v^2} \right)$$

Zur Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes müssen wir also nach der obigen Gleichung (7) die unabhängig voneinander bestimmten Werte für die spezifische Wärme $c_p$ des Gases, für das Verhältnis $\varkappa$ der beiden spezifischen Wärmen und für den individuellen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ des Gases (bei konstantem Druck) kennen, ferner muss uns der Wert der van der Waals'schen Konstante $a$ für das betreffende Gas gegeben sein.

Am einfachsten gestaltet sich die Berechnung, wenn wir dieselbe im C. G. S.-System durchführen und als betrachtete

Gasmenge ein Grammmolekül wählen. Für die Werte der van der Waals'schen Konstanten ist nun als Druckeinheit die Atmosphäre und als Volumeinheit die sogenannte theoretische Normaleinheit angenommen, d. h. das Volumen, das die betr. Menge Stoff bei $0^0$ und der Druckeinheit im idealen Gaszustande einnehmen würde; für ein Grammmolekül ist also die Volumeinheit gleich 22410 $cm^3$, wenn die Atmosphäre Druckeinheit ist[1]). Wir haben bei den folgenden Berechnungen demnach zuerst

den Versuchsdruck $p$ in Atmosphären auszudrücken;

das Anfangsvolumen $v_0$ haben wir als Volumen von einem Grammmolekül des betrachteten Gases bei $0^0$ C. und dem Versuchsdruck $p$ in theoretischen Normaleinheiten zu rechnen,

und als Volumen $v$ das Volumen von einem Grammmolekül des betrachteten Gases bei der mittleren Versuchstemperatur, ebenfalls in theoretischen Normaleinheiten gerechnet,

zu setzen. Da wir nun im C. G. S.-System rechnen, so haben wir den erhaltenen Wert für den Ausdruck $\left[v_0 \cdot \left(p + \frac{a}{v^2}\right)\right]$ unserer obigen Gleichung noch mit 22410[1]) und mit 1013200, dem Wert der Atmosphäre in absoluten Einheiten[2]), zu multiplizieren.

### I. Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes für atmosphärische Luft.

In unserer Gleichung

$$J = \frac{1}{c_p} \cdot \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} \cdot \alpha \cdot v_0 \cdot \left(p + \frac{a}{v^2}\right)$$

---

1) Landolt-Börnstein, physikalisch-chemische Tabellen; 3. Auflage, Berlin 1905, pag. 189.

2) F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, 10. Auflage, Leipzig, Teubner 1905, pag. 587.

setzen wir für $\varkappa$ den Wert

$$\varkappa = 1{,}4047$$

als Mittel aus den zuverlässigen, experimentell ermittelten $\varkappa$-Werten für Luft [1]).

Der individuelle Ausdehnungskoeffizient der Luft hat den Wert [2]):

$$\alpha = 0{,}00367.$$

Für die spezifische Wärme der Luft habe ich für das Temperaturintervall von $+20$ bis $+50^0$ C. den Wert 0,23764 ermittelt [3]); da wir unserer Berechnung als betrachtete Stoffmenge ein Grammmolekül zu Grunde legen, so ist für $c_p$ in unserer obigen Gleichung der Wert

$$c_p = 0{,}23764 \cdot 28{,}95$$

zu setzen, wenn $M = 28{,}95$ das mittlere Molekulargewicht der Luft bedeutet.

Bei meiner $c_p$-Bestimmung für Luft betrug der mittlere Versuchsdruck 758,38 mm, oder in Atmosphären ausgedrückt:

$$p = 0{,}9979.$$

Ein Grammmolekül Luft hat bei $0^0$ C. und dem Normaldruck von einer Atmosphäre das Volumen $\frac{28{,}95}{0{,}001293}$ cm³ (0,001293 = Dichtigkeit der Luft) oder $\frac{28{,}95}{0{,}001293 \cdot 22410}$ theoretische Normaleinheiten; bei dem mittleren Versuchsdruck $p$ wird das Volumen eines Grammmoleküls Luft von $0^0$ C. in theoretischen Normaleinheiten alsdann $\frac{28{,}95}{0{,}001293 \cdot 22410 \cdot 0{,}9979} = 1{,}0012$, sodass wir in unserer obigen Gleichung also

$$v_0 = 1{,}0012$$

zu setzen haben.

---

1) Everts, Inaug.-Dissertation, Marburg 1911, pag. 23.

2) Travers, experimentelle Untersuchungen von Gasen, Braunschweig, Vieweg und Sohn, 1905, pag. 149.

3) W. Escher, Inaug.-Dissertation, Marburg 1911, p. 44.

Für die mittlere Versuchstemperatur von $t = 35^0$ C. — der von mir ermittelte Wert der spezifischen Wärme ist der Mittelwert für das Temperaturintervall von $+20$ bis $+50^0$ C. — besitzt ein Grammmolekül Luft bei dem mittleren Versuchsdruck $p$ in theoretischen Normaleinheiten das Volumen

$$v_0 \cdot (1 + \alpha t) = 1{,}0012 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 35) = 1{,}1298;$$

es ist also

$$v = 1{,}1298.$$

Der Wert der van der Waals'schen Konstante $a$ berechnet sich für atmosphärische Luft entsprechend ihrem Prozentgehalt an Sauerstoff und Stickstoff aus den Olszewski-schen und Wroblewski'schen Angaben[1]) für $a_{Sauerstoff}$ und $a_{Stickstoff}$ zu:

$$a = 0{,}00268.$$

Setzen wir diese Werte für $\varkappa$, $\alpha$, $c_p$, $p$, $v_0$, $v$ und $a$ in die obige Gleichung ein und berücksichtigen, dass wir, wie oben angegeben, um C.G.S.-Einheiten zu erhalten, noch mit 22410 und 1013200 multiplizieren müssen, so ergibt sich für $J$ folgender Ausdruck:

$$J = \frac{1}{0{,}23764 \cdot 28{,}95} \cdot \frac{1{,}4047}{0{,}4047} \cdot 0{,}00367 \cdot 1{,}0012 \cdot \left(0{,}9979 + \frac{0{,}00268}{1{,}1298^2}\right) \cdot 22410 \cdot 1013$$

$$\underline{J = 4{,}209 \cdot 10^7 \; Erg.}$$

In meiner Dissertation[2]) hatte ich unter Benutzung meines $c_p$-Wertes für Luft mit Hilfe der dort abgeleiteten Gleichung, welche die Abweichungen vom idealen Zustand nur insofern berücksichtigt als der individuelle Ausdehnungskoeffizient des Gases in Rechnung gesetzt wird, das mechanische Wärmeäquivalent zu

$$J = 428{,}2 \; mkg = 4{,}199 \cdot 10^7 \; Erg$$

berechnet; dieser Wert weicht von dem jetzt erhaltenen, obigen $J$-Werte nur um 2,4 pro Mille ab.

---

1) Landolt-Börnstein, l. c.

2) Dissertation, pag. 73.

Führen wir nun mit Hilfe unserer Gleichung

$$J = \frac{1}{c_p} \cdot \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} \cdot \alpha \cdot v_0 \cdot \left( p + \frac{a}{v^2} \right)$$

eine Wärmeäquivalentberechnung unter Benutzung des von Scheel und Heuse [1]) für die spezifische Wärme der Luft bestimmten Wertes durch, so haben wir

$$c_p = 0{,}2408 \cdot 28{,}95$$

zu setzen.

Der mittlere Versuchsdruck beträgt bei Scheel und Heuse 760,3 mm oder in Atmosphären:

$$p = 1{,}0004.$$

Für $v_0$ haben wir alsdann den Wert $\frac{28{,}95}{0{,}001293 \cdot 22410 \cdot 1{,}0004}$ oder

$$v_0 = 0{,}9987$$

zu setzen; und $v$ wird dann, da der $c_p$-Wert für die Temperatur von 20 ° C. bestimmt ist, gleich $0{,}9987 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 20)$ oder

$$v = 1{,}072.$$

Wie vorhin ist wieder:

$$\varkappa = 1{,}4047;$$
$$\alpha = 0{,}00367;$$
$$a = 0{,}00268.$$

Wir erhalten somit durch Einsetzen dieser Werte für $c_p$, $\varkappa$, $\alpha$, $v_0$, $p$, $v$ und $a$ in die obige Gleichung für $J$ den Ausdruck:

$$J = \frac{1}{0{,}2408 \cdot 28{,}95} \cdot \frac{1{,}4047}{0{,}4047} \cdot 0{,}00367 \cdot 0{,}9987 \cdot \left( 1{,}0004 + \frac{0{,}00268}{1{,}072^2} \right) \cdot 22410 \cdot 1013200$$

$$\underline{J = 4{,}155 \cdot 10^7 \; Erg.}$$

---

1) K. Scheel und W. Heuse, Annalen der Physik, 4. Folge, Band 37, 1912, pag. 93.

Der von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft angegebene Wert des mechanischen Wärmeäquivalentes[1]) ist:

$$J = 4{,}189 \cdot 10^7 \; Erg.$$

Während also die Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes unter Berücksichtigung der Abweichungen vom idealen Gaszustand bei Benutzung meines $c_p$-Wertes für Luft einen Wert ($4{,}209 \cdot 10^7$) liefert, der um 4,8 pro Mille grösser ist als der Wert der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ergibt sich bei Benutzung des von Scheel und Heuse für Luft bestimmten $c_p$ ein Wärmeäquivalentwert ($4{,}155 \cdot 10^7$), der um 8 pro Mille kleiner als derjenige der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ist.

## II. Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes für Wasserstoff.

Die spezifische Wärme des Wasserstoffs bei konstantem Druck habe ich experimentell für das Temperaturintervall von + 20 bis + 100° C. zu 3,4219 bestimmt[2]). Wir haben bei unserer Berechnung für $c_p$ also den Wert

$$c_p = 3{,}4219 \cdot 2{,}016$$

zu setzen, wenn $M = 2{,}016$ das Molekulargewicht des Wasserstoffes ist.

Der mittlere Versuchsdruck betrug bei meiner $c_p$-Bestimmung 733,17 mm oder in Atmosphären ausgedrückt:

$$p = 0{,}9647.$$

Der individuelle Ausdehnungskoeffizient des Wasserstoffes hat den Wert[3]):

$$\alpha = 0{,}003661.$$

Das Volumen von einem Grammmolekül Wasserstoff bei 0° C. und dem Normaldruck von einer Atmosphäre be-

1) Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 12, Nr. 11, pag. 476, 1910.

2) Dissertation, pag. 67.

3) Travers, l. c.

trägt $\frac{2{,}016}{0{,}001293 \cdot 0{,}0696}$ cm³ (0,001293 = Dichtigkeit der Luft, 0,0696 = Dichte des Wasserstoffes bezogen auf Luft = 1) oder in theoretischen Normaleinheiten gerechnet $\frac{2{,}016}{0{,}001293 \cdot 0{,}0696 \cdot 22410}$; bei dem mittleren Versuchsdruck $p$ wird das Volumen eines Grammmoleküls Wasserstoff von 0° C. in theoretischen Normaleinheiten alsdann $\frac{2{,}016}{0{,}001293 \cdot 0{,}0696 \cdot 22410 \cdot 0{,}9647} = 1{,}0362$ sein, sodass also

$$v_0 = 1{,}0362$$

wird.

Für die mittlere Versuchstemperatur von $t = 60°$ C. — der von mir ermittelte Wert der spezifischen Wärme ist der Mittelwert für das Temperaturintervall von + 20 bis + 100° C. — besitzt ein Grammmolekül Wasserstoff bei dem mittleren Versuchsdruck $p$ in theoretischen Normaleinheiten das Volumen $v_0 \cdot (1 + \alpha t) = 1{,}0362 \cdot (1 + 0{,}003661 \cdot 60) = 1{,}2638$; es ist demnach

$$v = 1{,}2638.$$

Nach Olszewski[1]) besitzt die van der Waals'sche Konstante $a$ für Wasserstoff den Wert

$$a = 0{,}00042.$$

Den $\varkappa$-Wert des Wasserstoffs geben an

| | |
|---|---|
| Röntgen[2]) zu: | 1,385, |
| Lummer und Pringsheim[3]) zu: | 1,408, |
| Travers[4]) zu: | 1,414. |

Setzen wir das Mittel dieser drei Werte

$$\varkappa = 1{,}402$$

---

1) Landolt-Börnstein, l. c., pag. 189.

2) Winkelmann, Handbuch der Physik, 2. Aufl., 1906, Band III, Wärme, pag. 225.

3) Landolt-Börnstein, l. c., pag. 407.

4) Travers, l. c., pag. 309.

sowie die obigen Werte für $c_p$, $p$, $\alpha$, $v_0$, $v$ und $a$ in die Gleichung

$$J = \frac{1}{c_p} \cdot \frac{\varkappa}{\varkappa - 1} \cdot \alpha \cdot v_0 \cdot \left( p + \frac{a}{v^2} \right)$$

ein und berücksichtigen wieder, dass wir, um C. G. S.-Einheiten zu erhalten, noch mit 22410 und 1013200 multiplizieren müssen, so erhalten wir für $J$ den Ausdruck:

$$J = \frac{1}{3{,}4219 \cdot 2{,}016} \cdot \frac{1{,}402}{0{,}402} \cdot 0{,}003661 \cdot 1{,}0362 \cdot \left( 0{,}9647 + \frac{0{,}00042}{1{,}2638^2} \right) \cdot 22410 \cdot 10132$$

$$\underline{J = 4{,}202 \cdot 10^7 \; Erg.}$$

Dieser Wert weicht von dem in meiner Dissertation [1]) mit Hilfe der dort angegebenen Gleichung berechneten Wärmeäquivalentwerte

$$J = 428{,}2 \; mkg = 4{,}199 \cdot 10^7 \; Erg$$

nur um 0,7 pro Mille ab.

Von dem Werte der Deutschen Physikalischen Gesellschaft [2])

$$J = 4{,}189 \cdot 10^7 \; Erg$$

besitzt der unter Benutzung meines für Wasserstoff bestimmten $c_p$ für das mechanische Wärmeäquivalent jetzt berechnete Wert $4{,}202 \cdot 10^7 \; Erg$ eine Abweichung von allerdings nur 3,1 pro Mille.

Führen wir dieselbe Berechnung für den Wasserstoff durch und verwenden aber anstelle des Mittelwertes 1,402 für $\varkappa$ die Extremwerte 1,385 bezw. 1,414, so ergibt sich $J$ zu $4{,}334 \cdot 10^7 \; Erg$, bezw. zu $4{,}115 \cdot 10^7 \; Erg$, Werte, die um 5,3 Prozent differieren. Es ist also zunächst eine exakte experimentelle Neubestimmung des $\varkappa$-Wertes für Wasserstoff unumgänglich nötig, um nachzuprüfen, ob der in der obigen Rechnung benutzte Mittelwert für $\varkappa_{Wasserstoff}$ mit dem wirk-

1) Dissertation, pag. 74.
2) l. c.

lichen $\varkappa$-Wert übereinstimmt; vorher kann wegen der Unsicherheit in den $\varkappa$-Angaben für Wasserstoff eine Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes keinen Anspruch auf Genauigkeit und Sicherheit machen. Es ist eine solche Neubestimmung im hiesigen Institut in Angriff genommen.

### III. Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes für Stickstoff.

H. Everts[1]) hat die spezifische Wärme des Stickstoffs bei konstantem Druck für das Temperaturintervall von $+24$ bis $+150^0$ C. — mittlere Versuchstemperatur $+87^0$ — zu 0,2429 bestimmt. In unserer Berechnung haben wir also

$$c_p = 0{,}2429 \cdot 28{,}02$$

zu setzen, wobei 28,02 das Molekulargewicht des Stickstoffs bedeutet.

Für ein Grammmolekül Stickstoff ist bei $0^0$ C. und dem Normaldruck von einer Atmosphäre das Volumen gleich $\frac{28{,}02}{0{,}001293 \cdot 0{,}967}$ cm$^3$ (0,001293 = Dichtigkeit der Luft, 0,967 = Dichte des Stickstoffs bezogen auf Luft = 1) oder in theoretischen Normaleinheiten gleich $\frac{28{,}02}{0{,}001293 \cdot 0{,}967 \cdot 22410}$ = 1,0003. Setzen wir den mittleren Versuchsdruck

$$p = 1 \text{ Atmosphäre},$$

so wird also

$$v_0 = 1{,}0003.$$

Für die mittlere Versuchstemperatur von $t = +87^0$ C. wird das Volumen von einem Grammmolekül Stickstoff alsdann $v_0 \cdot (1 + \alpha t) = 1{,}0003 \cdot (1 + 0{,}003668 \cdot 87) = 1{,}3191$ theoretische Normaleinheiten betragen, wenn

$$\alpha = 0{,}003668$$

der individuelle Ausdehnungskoeffizient des Stickstoffs ist[2]).

1) Everts, l. c., pag. 36.
2) Travers, l. c., pag. 150.

Für unsere Berechnung wird demnach

$$v = 1{,}3191.$$

Die van der Waals'sche Konstante $a$ besitzt für Stickstoff nach den Angaben von Wroblewski und Olszewski [1]) den Wert

$$a = 0{,}00268,$$

und für $\varkappa$ setzen wir nach Travers [2])

$$\varkappa = 1{,}414.$$

Unter Benutzung dieser Daten für $c_p$, $\varkappa$, $\alpha$, $v_0$, $p$, $v$ und $a$ erhalten wir mithin für $J$ die Gleichung:

$$J = \frac{1}{0{,}2429 \cdot 28{,}02} \cdot \frac{1{,}414}{0{,}414} \cdot 0{,}003668 \cdot 1{,}0003 \cdot \left(1 + \frac{0{,}00268}{1{,}3191^2}\right) \cdot 22410 \cdot 1013200$$

$$\underline{J = 4{,}186 \cdot 10^7\ Erg.}$$

Mit diesem Resultat stimmt fast genau überein der Wert $J = 426{,}77\ mkg = 4{,}185 \cdot 10^7\ Erg$, den Everts mit Hilfe der einfachsten von Herrn Prof. Richarz angegebenen Gleichung für das mechanische Wärmeäquivalent erhalten hatte [3]), und von dem Werte $J = 4{,}189 \cdot 10^7\ Erg$ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft besitzt der berechnete Wärmeäquivalentwert die geringe Abweichung von 1 pro Mille.

Setzt man in der obigen Berechnung nicht nach Travers' Angaben $\varkappa = 1{,}414$, sondern benutzt die übrigen bisher experimentell bestimmten $\varkappa$-Werte (von Masson, Cazin, Buckendahl u. a.), die alle kleiner als 1,414 sind, so erhält man bedeutend zu hohe Werte für das mechanische Wärmeäquivalent; im Institut wird deshalb zur Zeit eine experimentelle Neubestimmung von $\varkappa_{Stickstoff}$ vorgenommen.

---

1) Landolt-Börnstein, l. c., pag. 189.
2) Travers, l. c., pag. 309.
3) Everts, l. c., pag. 37.

## IV. Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes für Sauerstoff.

Für die spezifische Wärme des Sauerstoffes bei konstantem Druck hat O. Stoll[1]) den Wert 0,21731 für das Temperaturintervall von +18 bis +150° C. ermittelt; wir haben in unserer Berechnung demnach

$$c_p = 0{,}21731 \cdot 32{,}00$$

zu setzen. — Den $\varkappa$-Wert des Sauerstoffes hat K. H. Küster[2]) auf akustischem Wege, mittels der Quincke'schen Resonanzmethode experimentell zu

$$\varkappa = 1{,}402$$

bestimmt. — Der mittlere Versuchsdruck beträgt bei Stoll 769,5 mm oder

$$p = 1{,}0125$$

Atmosphären.

Das Volumen von einem Grammmolekül Sauerstoff ist bei 0° C. und dem Normaldruck von einer Atmosphäre gleich $\frac{32{,}00}{0{,}001293 \cdot 1{,}105}$ cm³ (0,001293 = Dichtigkeit der Luft, 1,105 = Dichte des Sauerstoffs bezogen auf Luft = 1) oder gleich $\frac{32{,}00}{0{,}001293 \cdot 1{,}105 \cdot 22410}$ theoretische Normaleinheiten; bei dem mittleren Versuchsdruck $p$ wird das Volumen eines Grammmoleküls Sauerstoff von 0° C. alsdann $\frac{32{,}00}{0{,}001293 \cdot 1{,}105 \cdot 22410 \cdot 1{,}0125} = 0{,}9871$ theoretische Normaleinheiten betragen, sodass wir mithin

$$v_0 = 0{,}9871$$

zu setzen haben.

Da der $c_p$-Wert für das Temperaturintervall von +18 bis +150° C. bestimmt worden ist, die mittlere Versuchstemperatur also $t = 84°$ beträgt, wird $v = v_0 \cdot (1 + \alpha t)$ $= 0{,}9871 \cdot (1 + 0{,}0036743 \cdot 84)$ oder

$$v = 1{,}2917.$$

1) Stoll, Inaug.-Diss., Marburg 1911, pag. 31.
2) Küster, Inaug.-Diss., Marburg 1911, pag. 31.

Für $\alpha$ müssen wir, da keinerlei Angaben für den Wert des individuellen Ausdehnungskoeffizienten des Sauerstoffes vorliegen, den Spannungskoeffizienten [1])

$$\alpha = 0{,}0036743$$

zur Berechnung benutzen.

Nach den Angaben von Wroblewski und Olszewski [2]) ist für Sauerstoff die van der Waals'sche Konstante

$$a = 0{,}00269.$$

Zur Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes erhalten wir unter Benutzung der obigen Daten demnach die Gleichung

$$J = \frac{1}{0{,}21731 \cdot 32{,}00} \cdot \frac{1{,}402}{0{,}402} \cdot 0{,}0036743 \cdot 0{,}9871 \cdot \left(1{,}0125 + \frac{0{,}00269}{1{,}2917^2}\right) \cdot 22410 \cdot 1013$$

$$\underline{J = 4{,}188 \cdot 10^7 \; Erg.}$$

Stoll hatte das mechanische Wärmeäquivalent mit Hilfe der einfachsten von Herrn Prof. Richarz angegebenen Gleichung zu $J = 427{,}0 \; mkg = 4{,}187 \cdot 10^7 \; Erg$ berechnet [3]); dieser Wert stimmt also fast vollkommen überein mit dem jetzt erhaltenen Resultat, welches von dem Werte $J = 4{,}189 \cdot 10^7 \; Erg$ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft lediglich eine ganz geringe Abweichung aufweist.

Eine kleine Ungenauigkeit steckt in dieser Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes für Sauerstoff deshalb, weil wir anstelle des individuellen Ausdehnungskoeffizienten, welchen die der Berechnung zu Grunde liegende Ableitung fordert, den Spannungskoeffizienten verwenden mussten. Es soll deshalb auf Anregung von Herrn Prof. Richarz versucht werden, unter Benutzung der van der Waals'schen Zustandsgleichung noch eine andere Formel herzuleiten, die zur Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes aus der Differenz der beiden spezifischen Wärmen der Gase auch den Spannungskoeffizienten zu verwenden gestattet.

1) Winkelmann, l. c., pag. 121.
2) Landolt-Börnstein, l. c., p. 189.
3) Stoll, l. c., pag. 38.

In der Wahlsitzung wurde Herr Privatdozent Dr. E. Obst zum ausserordentlichen Mitgliede gewählt.

# Sitzungsberichte

der

## Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

## MARBURG

№ 8 Dezember 1912


In der Sitzung vom 4. Dezember sprachen die Herren A. Lohmann und Eduard Müller:

### Ueber Physiologie der Bronchialmuskulatur.

Unsere Kenntnisse über die physiologische Funktion der Bronchialmuskulatur sind äusserst dürftig.

Als Arbeitshypothese diente uns die Vorstellung der physiologischen Zweckmässigkeit der Bronchialmuskulatur u. a. dergestalt, dass Kontraktionen dieser glatten Muskeln unter Verkürzung und Verengerung des Bronchialbaums mit Volumschwankungen der Lunge einhergehen und damit auch die bisher als rein passiv aufgefasste Exspirationsphase der Atmung vielleicht aktiv unterstützen können. Wenn diese Vorstellung zutrifft, so müssen sich Volumschwankungen der Lunge durch Muskelkräfte, die in ihr gelegen sind, unter geeigneten Versuchsbedingungen nachweisen lassen. Die von uns eingeschlagenen Wege waren folgende:

Es wird bei Kaninchen die normale durch die willkürliche Muskulatur bedingte Atmung ausgeschaltet und untersucht, ob dann noch Volumschwankungen der Lunge vorhanden sind. Diese Ausschaltung gelingt 1. durch totales Curaresieren, 2. durch Abtrennung des Atemzentrums, 3.

durch Beobachtung der frisch ausgeschnittenen überlebenden Lunge.

Bei Curaresieren wurden zwei prinzipiell verschiedene Methoden angewandt: a) künstliche Atmung des tracheotomierten Tieres mit dem Atemapparat. Durch reichliche, künstliche Sauerstoffzufuhr wird hierbei das Blut so stark arterialisiert, dass einige Zeit die Atmung ausgeschaltet und durch direkte Verbindung der Luftröhre mit einem Volumschreiber eine etwaige Volumschwankung sichtbar gemacht werden kann. Ein Nachteil dieser Methode ist die rasch einsetzende Dyspnoe und die dadurch bedingte kurze Dauer des Einzelversuchs.

Es wurde deshalb auch Methode b) angewandt: das Tier wird curaresiert und tracheotomiert; in die Trachea wird unter stets gleichem Druck Sauerstoff insuffliert. Etwaige Volumschwankungen der Lunge müssen sich durch Veränderung des Zwerchfellstandes geltend machen. Schwankungen des letzteren werden durch den Rosenthal'schen Phrenographen registriert; hierbei ist der Einfluss etwaiger Volumschwankungen der Bauchhöhle auf den Zwergfellstand zu berücksichtigen. Bei beiden Methoden (a, b) sahen wir rhythmische Volumschwankungen der Lunge. Sie sind von den durch die Herztätigkeit bedingten durch ihre grössere Periode leicht zu unterscheiden; sie sind jedoch nicht regelmässig vorhanden und nur gering. Es wurden weiterhin Mittel angewandt, die einerseits Kontraktionen, andererseits Lähmungen der Bronchialmuskulatur bewirken. Als Typus der ersteren Gruppe diente das Pilocarpin, der letzteren das Atropin. Durch Pilocarpin und ähnlich wirkende Substanzen trat kein andauernder Bronchospasmus ein, sondern eine verstärkte rhythmische Volumschwankung der Lunge. Atropin hingegen hob diese durch Pilocarpin erzielten oder schon spontan bestehenden Schwankungen vollkommen auf.

Um etwaige durch Curare gesetzte Fehlerquellen zu vermeiden, wurden Ausschaltungen des Atemzentrums durch Rückenmarks-

durchschneidungen vorgenommen. Es konnten wiederum durch intravenöse Pilocarpin-Injektionen rhythmische Volumschwankungen der Lungen hervorgerufen und durch Atropin beseitigt worden. Diese Volumschwankungen waren bei den Tieren mit Ausschaltung des Atemzentrums grösser als bei den curaresierten. Das totale Curaresieren scheint demgemäss die rhythmischen Volumschwankungen der Lunge zu verringern. Um auch nach Ausschaltung des Atemzentrums die oberhalb der Durchtrennungslinie liegenden Nerven, welche accessorische Atemmuskeln, z. B. die Gesichtsmuskulatur versorgen, zu eliminieren, wurden einige Tiere nach Unterbindung der grossen Gefässe decapitiert. Das Ergebnis blieb das gleiche.

Diese Versuche lassen u. a. auf das Vorkommen rhythmischer Volumschwankungen der Lunge durch intrapulmunär gelegene Muskulatur auch nach Abtrennung der nervösen Zentralorgane schliessen. Es lag deshalb nahe, die ausgeschaltete überlebende Lunge auf spontane Volumschwankungen zu untersuchen (Demonstration der Technik). Unter möglichster Vermeidung der Abkühlung wird die lebensfrische Lunge herausgeschnitten, sowie Herz und Oesophagus abgetrennt. Die Lunge kommt in einen oben luftdicht abgeschlossenes Glasgefäss derart, dass sie mit dem Trachealstumpf an einer nach aussen mündenden Kanüle aufgehängt wird. Diese Kanüle steht ebenso wie das Innere des Glasgefässes mit Marey'schen Kapseln in Verbindung. Volumschwankungen der Lunge müssen an beiden Schreibern in entgegengesetztem Sinne zum Ausdruck kommen. Durch Absaugen von Luft aus dem Glasgefäss kann die Lunge auf jeden beliebigen Blähungszustand gebracht werden (am besten auf die physiologische Spannung). — Der Apparat muss durch einen Thermostaten auf stets gleicher Temperatur gehalten und durch sorgfältigste Isolierung gegen Wärmeverluste geschützt werden. Es sind weiterhin Vorkehrungen getroffen, um eine künstliche Durchblutung und elektrische

Reizung der überlebenden Lunge, sowie die Ablesung etwaiger Aktionsströme zu ermöglichen.

Auch bei dieser Versuchsanordnung wurden rhythmische Volumschwankungen festgestellt. Da wir gelegentlich eigentümliche Schwankungen des Volumschreibers bei geschlossenem, leerem Glasgefäss sahen, so können wir zur Zeit noch kein abschliessendes Urteil darüber abgeben, ob die von uns beobachteten Volumschwankungen tatsächlich auf intrapulmonäre Muskelkräfte zurückzuführen sind. Bei dieser Technik ist es uns gelungen, auch die Lunge elektrisch zu reizen und eine wesentliche reaktive Volumverkleinerung zu registrieren.

Die ausgeschnittene Lunge zeigt bei der geschilderten Versuchsanordnung nur beschränkte Lebensdauer. Die Versuche sollen daher an der künstlich durchbluteten Lunge auch durch Zusatz von Medikamenten, die auf die glatte Muskulatur wirken, wiederholt und erweitert werden.

Gewisse Volumschwankungen des Lungengewebes könnten auch durch Wechsel der Blutgefässweite bedingt sein. Rhythmische und von der Herztätigkeit zeitlich unabhängige Volumschwankungen durch die Blutgefässe sind jedoch kaum zu erwarten. Man muss bei dem anatomischen Bau des Bronchialbaums auch beachten, dass umgekehrt Veränderungen im Kontraktionszustand der Bronchialmuskulatur sekundär die Lungenzirkulation beeinflussen können.

Weiter sprachen die Herren A. Lohmann und Eduard Müller in der gleichen Sitzung:

## Ueber die Ursachen des raschen Todes und der hochgradigen Lungenblähung beim anaphylaktischen Shok.

Es war unsere Absicht, im anaphylaktischen Shok beim Meerschweinchen den allgemein angenommenen Spasmus der Bronchialmuskulatur auszulösen und seine Rückwirkung auf das Lungenvolumen mit Hilfe der in unserer Mitteilung über die Physiologie der Bronchialmuskulatur geschilderten Versuchstechnik [1]) zu prüfen. Einige durch Pferdeeiweiss sensibilisierte Tiere erhielten Trachealkanülen. Sie wurden dann zur Ausschaltung der willkürlichen Atemmuskulatur curaresiert, und der Gaswechsel in der Lunge durch anhaltende, unter stets gleichem Druck erfolgende Sauerstoffinsufflation aufrecht erhalten. Zur Auslösung des Shoks dienten intracardiale Einspritzungen von 5 Milligramm Pferdeeiweiss in 0,5 cbcm Flüssigkeit. Wir erzielten in keinem Fall eine typische Lungenblähung; auch die bekannten Krämpfe der willkürlichen Körpermuskulatur blieben infolge der Curarewirkung aus. Ob das Curare vor dem Shok tatsächlich schützt, können wir mit Bestimmtheit schon deshalb nicht entscheiden, weil auf der Höhe der Curarewirkung vor der Eiweisseinspritzung Schädigungen der Herztätigkeit beobachtet wurden.

Wir sahen deshalb von weiterer Curareanwendung ab und schalteten die gesamte willkürliche Atemmuskulatur dadurch aus, dass wir das Atemzentrum mit dem ganzen Kopf nach sorgfältiger Unterbindung der Gefässe abtrennten. Der

---

1) Sitzungsbericht der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften in Marburg, vom 4. 10. 1912.

Gaswechsel wurde auch hier durch eine zuvor eingelegte Trachealkanüle und durch Sauerstoffinsufflation aufrecht erhalten. Darauf wurden wiederum 5 Milligramm Pferdeeiweiss in das Herz injiziert (von einem erhaltenen Jugularisstumpf aus). Wir konnten keinerlei Wirkung der Injektion beobachten; es traten auch keine Krämpfe der willkürlichen Stammes- und Extremitätenmuskular ein; die hochgradige Lungenblähung fehlte gleichfalls; das Herz schlug kräftig weiter.

Die Befunde konnten insofern nicht überraschen, als von den beiden Faktoren, die für das Zustandekommen der hochgradigen Lungenblähung gewöhnlich verantwortlich gemacht werden (Spasmen der Bronchialmuskulatur und starke Inspirationsbewegungen des Thorax) der zweite bei unserer Versuchsanordnung ausgeschaltet wurde. Da jedoch das klinische Bild des akut tötlichen Shoks lebhaft an einen Erstickungszustand durch Glottiskrampf erinnert, wurde an die Möglichkeit gedacht, dass beim anaphylaktischen Shok für das Zustandekommen der typischen Lungenblähung und für den raschen Exitus ein Stimmritzenkrampf mitverantwortlich ist. Von diesem Gesichtspunkt aus wurden die sensibilisierten Meerschweinchen unter Vermeidung von Blutverlusten kurz vor Auslösung des Shoks tracheotomiert und die Kanüle so versorgt, dass sie auch bei Krämpfen der Kopf- und Halsmuskulatur möglichst freiblieb. Das Pferdeeiweiss wurde dann direkt in das Herz eingespritzt. Es traten wie bei den Kontrolltieren die üblichen Shoksymptome ein („putzen", „kauen", Krämpfe der Körpermuskulatur, Harn- und Kotentleerung usw.). Dagegen blieben die schweren Atemstörungen mehr oder weniger aus oder behoben sich nach kurzer Zeit. Die Tiere überstanden ausnahmslos auch schwere Shoks. Sie starben erst in den nächsten Tagen; die Trachealkanülen waren dann durch Sekret verstopft. Die Sektion ergab, dass die charakteristische anaphylaktische Lungenblähung fehlte. Es konnten sogar

Tiere, die unter schweren Shoksymptomen fast verendet schienen, dadurch gerettet werden, dass eine schon vorher eingelegte T-förmige Trachealkanüle schleunigst direkt nach aussen wegsam gemacht wurde.

Bei allen Versuchen, bei denen die Wirkung der Trachealkanülen untersucht wurde, wurden gleichzeitig Kontrollversuche angestellt. Es wurden dazu Meerschweinchen verwandt, die am gleichen Tage, in der gleichen Weise, mit der gleichen Dosis des gleichen Materials wie die Versuchstiere sensibilisiert waren. Auch die den Shok auslösende Reinjektion wurde natürlich jedesmal mit der gleichen Dosis desselben Materials, wie bei den Versuchstieren intracardial vorgenommen. Die Kontrolltiere starben ausnahmslos innerhalb weniger Minuten und zeigten bei der Sektion typische Lungenblähung.

Diese Versuche beweisen wohl, dass der rasche anaphylaktische Tod, wie schon das klinische Bild erwarten lässt, in der Tat ein Erstickungstod ist und dass hierbei wohl ein Atemhindernis eine Rolle spielt, das oberhalb des Trachealschnitts gelegen ist, vermutlich also ein krampfhafter Glottisverschluss. Die Versuche lehren weiter, dass durch schleunigste Tracheotomie der tötliche Ausgang eines schon bestehenden schweren anaphylyktischen Shoks verhindert werden kann, und dass das Auftreten der typischen anaphylaktischen Lungenblähung durch das geschilderte höher gelegene Atemhindernis mitbedingt ist.

Wir bemerken noch, dass wir auch durch Urethannarkosen (subcutan 0,6 Gr.), durch Atropin und durch doppelseitige Vagusdurchschneidungen den rasch tötlichen Ausgang des Shoks und die typische Lungenblähung verhindern konnten. Die schützende Wirkung der Vagusausschaltung kann sich nach unseren Versuchen auch dadurch erklären. dass die motorischen Kehlkopfnerven gelähmt werden und damit ein zur Erstickung führender Stimmritzenkrampf unmöglich gemacht ist. Mit dieser Auffassung stimmt unsere

experimentelle Erfahrung überein, dass Durchschneidungen beider Recurrentes oder Ausschaltung der Stimmbänder durch Abbrennen mit glühenden Nadeln gleichfalls imstande sind, vor dem rasch tötlichen Ausgang und vor der typischen Lungenblähung trotz sonst schwerster Shoksymptome zu schützen. Leider konnten die zuletzt geschilderten Versuche wegen Mangels eines geeigneten Materials bis jetzt noch nicht systematisch mit den notwendigen Kontrollversuchen durchgeführt werden.

Am Schluss der Sitzung wurde die Auslösung des Shoks an einem tracheotomierten und einem Kontrolltiere vorgeführt.

Weiter hielt Herr C. Leibfried (als Gast) den Vortrag:

## Neue Versuche über die in Luft durch Röntgenstrahlen erzeugten Nebelkerne.

F. Richarz[1]) hat durch seine Versuche über die Kondensation von Wasserdampf zuerst nachgewiesen, dass die durch die Einwirkung von Röntgenstrahlen auf gewisse Gase erzeugten Ionen als Kondensationskerne dienen können. Seine Versuche wurden bestätigt durch C. T. R. Wilson[2]), der die Kondensationsgrenze für Ionen bei etwa vierfacher Uebersättigung fand. Es wurde[3]) auch später eine Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Kondensation von Wasserdampf beobachtet und zwar eine Nebelbildung, die schon unterhalb der oben genannten vierfachen Uebersättigung (Ionengrenze) auftrat. Es hatten sich bei diesen Versuchen wenige Tropfen bei etwa zweifacher Uebersättigung gezeigt.

Bei meinen Versuchen über die Kondensation von Wasserdampf fand ich unter dem Einfluss von Röntgenstrahlen eine Kernbildung, die schon unter Umständen bei ganz geringen Uebersättigungen zu Kondensation Veranlassung geben kann. Die Resultate wurden nach der Entspannungsmethode mit der im Institut ausgebildeten Apparatur[4]) gewonnen. Das Entspannungsgefäss konnte eventuell verschieden lange Zeit mit einer Intensivstrom-Röntgenröhre[5]), die für Dauerbetrieb geeignet ist, bestrahlt werden. Schon zu Anfang der Ver-

---

1) F. Richarz, Ann. d. Physik, 59. 1896, S. 592.

2) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. 193. p. 289, 1899.

3) E. Barkow, Diss. S. 24. Marburg 1906. W. Bieber, Diss. S. 37. Marburg 1911.

4) W. Bieber, Diss. Marburg 1911.

5) von Gundelach-Gehlberg, Thüringen.

suche zeigte sich bei langer Bestrahlung des Expansionsgefässes ein Nebel bereits bei kleinen Uebersättigungen. Die Veränderlichkeit dieser Erscheinung bei verschiedenen Versuchen legte die Vermutung nahe, dass die Grösse der zur Erzeugung des Nebels erforderlichen Entspannung von der Natur und vielleicht auch von der Dauer der Strahlung abhängig sei.

Um die Abhängigkeit von der Natur der Strahlen zu konstatieren wurden zwischen Röntgenröhre und Entspannungsgefäss Schirme aus Zinkblech nacheinander von verschiedener Stärke eingeschaltet, um so die Härte der durchgelassenen Strahlen zu variieren[1]). Intensitätsschwankungen in der Belastung der Röhre wurden durch eine der Röhre parallel geschaltete Funkenstrecke möglichst vermieden. Zugleich konnte bei je einem Filter der Einfluss der Strahlungszeit festgestellt werden. Die Ergebnisse dieser Versuche sind aus folgenden Tabellen zu ersehen.

I.
Filter 0,46 mm

| Strahl.-Zeit | Expansion |
|---|---|
| 2 Min. | 2 cm |
| 3 „ | 1,1 „ |
| 4 „ | 0,7 „ |

II.
Filter 0,71 mm

| Strahl.-Zeit | Expansion |
|---|---|
| 2 Min. | um 8 cm |
| 3 „ | „ 4 „ |
| 4 „ | „ 3 „ |

Die Tabellen zeigen, dass mit zunehmender Zeit die Kondensationsgrenze erniedrigt wird, und zwar bei dem dünneren Filter stärker als bei dem dickeren.

Zugleich ergibt sich aus den beiden Tabellen, dass die weichen Strahlen Kerne erzeugen, die bei einer kleineren Uebersättigung kondensieren, als die durch die härteren Strahlen gebildeten. Eine Fortsetzung der Versuche der Tabelle I mit wachsenden Bestrahlungszeiten

1) Röntgen, Wied. Ann. 64. 1898

III.
Filter 0,46 mm

| Strahl.-Zeit | Expansion |
|---|---|
| 2 Min. | 2 cm |
| 3 „ | 1,1 „ |
| 4 „ | 0,7 „ |
| 5 „ | 0,4 „ |
| 6 „ | 0,4 „ |
| 21 „ | 0,4 „ |
| 42 „ | 0,4 „ |

lässt erkennen, dass sich die Kondensationsgrenze mit zunehmender Bestrahlungsdauer einer unteren Grenze nähert, die bei der angegebenen Anordnung und Röntgenröhre selbst durch hohe Zeiten z. B. 42 Minuten [1]) nicht mehr erniedrigt werden kann.

Vorstehende Versuche sind sämtlich ausgeführt in staubfreier mit Wasserdampf gesättigter Luft. Die schon oben erwähnten Versuche von E. Barkow und W. Bieber sind zum Teil in sorgfältig gereinigten Gasen angestellt worden. Dort hat sich immer nur eine untere Entspannungsgrenze um 8 cm Quecksilber ergeben. Es ist daher noch zu untersuchen, ob sich die obigen Resultate bei einer Wiederholung mit reinen Gasen, nicht atmosphärischer Luft, wiederfinden werden. Diese Untersuchung ist bereits in Angriff genommen. Ueber die Natur der hier sich zeigenden Kondensationskerne lässt sich noch nichts aussagen. Auch hierüber sollen Untersuchungen im hiesigen Physikalischen Institut angestellt werden.

1) Diese lange Bestrahlungszeit war selbst bei der Intensivstrom-Röntgenröhre nur mit Pausen von ca. 20 Minuten zwischen den sechs Einzelbestrahlungen von je 7 Minuten zu erreichen.

In der Wahlsitzung wurde Herr Professor Dr. Göppert zum ausserordentlichen Mitglied gewählt.

Ausser den im Vorstehenden abgedruckten Vorträgen wurden in den verschiedenen wissenschaftlichen Sitzungen noch folgende Vorträge gehalten:

In der Sitzung vom 10. Januar sprach Herr Wegener **Ueber Horizontalverschiebungen der Kontinente.**

Am 14. Februar hielt Herr Lorenz (als Gast) den Vortrag: **Phasenlehre und Metallographie.**

Am 8. Mai sprach Herr M. B. Schmidt: **Ueber den Eisenstoffwechsel.**

Am 10. Juli hielt Herr F. A. Schulze die Vorträge: 1) **Demonstration einer merkwürdigen neuen Nachwirkungserscheinung.** 2) **Dichte und Elastizitätsmodul einiger Edelmetall-Legierungen.**

Am 4. Dezember hielt Herr E. Obst den Vortrag: **Versuch einer Morphologie der grossen Ostafrikanischen Störungszone.**

# Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften.

## Band XIII.

1. Abteilung.

*Kayser, E.,* Die Fauna des Dalmanitensandsteins von Kleinlinden bei Giessen. Mit 5 Lichtdrucktafeln. gr. 8°. 1896. 42 S. 3.—

2. Abteilung.

*Stein, Josef,* Die Regenverhältnisse von Marburg auf Grund 30jähriger Beobachtungen an der meteorologischen Station daselbst. gr. 8°. 1898. S. 43—140. 2.80

3. Abteilung.

*Marchand, F.,* Beiträge zur Kenntnis der Placentarbildung. Die Placenta des Kaninchens mit Bemerkungen über die Placenta der Katze. Mit 4 Doppeltafeln und 1 Textfigur. gr. 8°. 1898. S. 141—195. 4.—

4. Abteilung.

*Lotz, H.,* Die Fauna des Massenkalks der Lindener Mark bei Giessen. Mit 4 Lichtdrucktafeln. gr. 8°. 1900. S. 197—236. 3.—

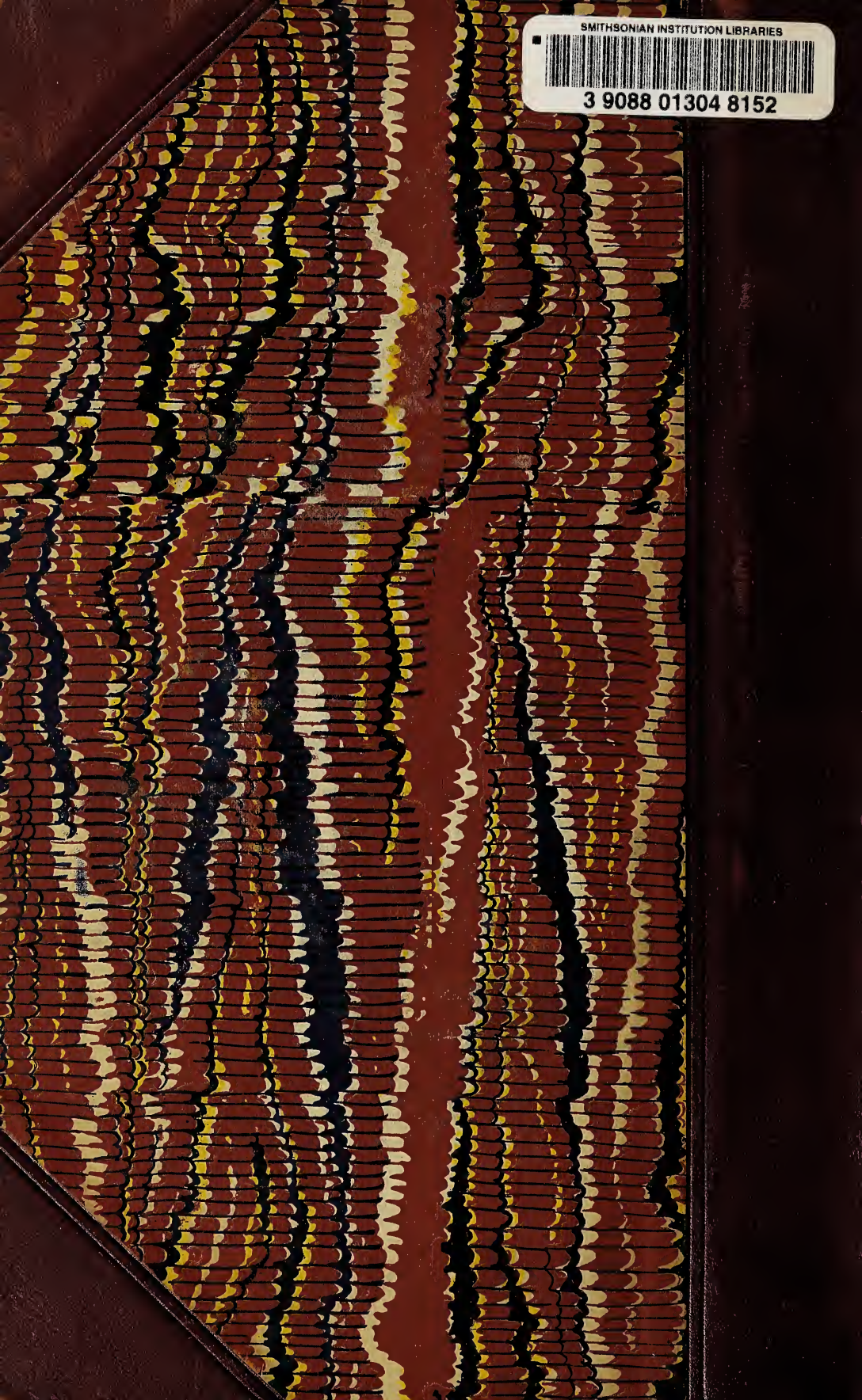
5. Abteilung.

Ueber die ferromagnetischen Eigenschaften von Legierungen unmagnetischer Metalle. Von *Fr. Heusler* und — unter Mitwirkung von *F. Richarz,* von *W. Starck* und *E. Haupt.* Mit 13 Figuren im Text, 8 Zahlentabellen und 3 Kurventafeln. gr. 8°. 1904. S. 237—300. 2.20

6. Abteilung.

*Take, E.,* Magnetische und dilatometrische Untersuchung der Umwandlungen *Heusler*'scher ferromagnetisierbarer Manganbronzen. (Mit 14 Zahlentabellen, 6 Figuren im Text und 7 Kurventafeln). gr. 8°. 1906. S. 301—404. 4.—

Verlangen Sie gefl. ausführliches Verzeichnis der früher erschienenen Bände 1—12 der Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften.


SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01304 8152